

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Návrh jeřábové dráhy
Design of crane track

Student:

Radim Dittrich

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Josef Jurman, CSc.

Ostrava 2012

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování

Zadání bakalářské práce

Student: **Radim Dittrich**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R010 Konstrukce strojů a zařízení
Specializace: 70 Zemní, těžební a stavební stroje
Téma: **Návrh jeřábové dráhy**
Design of Crane Track

Zásady pro vypracování:

V rámci zadání proveďte stručnou rešerši dané problematiky. Navrhněte jeřábovou dráhu, která je součástí lehké ocelové haly systému VEDE. Zpracujte případné alternativy řešení. Hodnocení proveďte z pohledu náročnosti výroby, logistiky, montáže a ekonomické výhodnosti. Bližší specifikace provozních podmínek a parametrů určí zadavatel Femont Opava.

Seznam doporučené odborné literatury:

JERÁBEK, K. *Metodika navrhování strojů*. 1. vydání, Praha: Ediční středisko ČVUT v Praze, 1999. 119 s.
LEINVERT, J. - ŘASA, J. - VÁVRA, P. *Strojnické tabulky*. Praha: Scientia, Praha, 1999. ISBN 80-7183-164-6
KALÁB, K. *Části a mechanismy strojů pro bakaláře - části spojovací*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TUO, Ostrava, 2007. ISBN 978-80-248-1290-8
REMTA, F. - KUPKA, L. - DRAŽAN, F. *Jeřáby I. díl*. Praha: Druhé vydání SNTL Praha 1974. 637 st.
ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.
ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Josef Jurman, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry

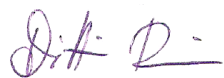


prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě:
16.5. 2012

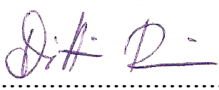
.....


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 16.5.2012


.....
podpis

Radim Dittrich
Pekařská 397/48
Opava
PSČ 746 01

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DITTRICH, R. *Návrh jeřábové dráhy* : bakalářská práce. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2012, 55s. Vedoucí práce Fries. J.

Bakalářská práce se zabývá návrhem jeřábové dráhy ve skladovací hale. V úvodu je zpracována rešerše popisující jeřáby, konkrétně pak mostový jeřáb, jeho jeřábová dráha a systém lehké haly VEDE[®]. Dále jsou spočteny zatěžující síly dle normy ČSN a působíště maximálního ohybového momentu, na jehož základě byl zvolen vhodný profil nosníku. S těmito parametry je provedena pevnostní kontrola pomocí MKP a návrh konstrukčního řešení. V závěru jsou nabídnuta alternativní řešení jeřábové dráhy, popsána montáž a vše je shrnuto z ekonomického hlediska. Hlavním cílem práce bylo navržení jeřábové dráhy a jejích alternativ, s ohledem na funkčnost a možné snížení nákladů. V příloze je výkresová dokumentace.

ANOTATION OF BACHELOR'S THESIS

DITTRICH, R. Design of a crane track: bachelor's thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2012, 55p., Supervisor of bachelor's thesis Fries. J.

The bachelor's thesis deals with a design of a crane track in a storage hall. The introduction is carried out as a background research describing cranes, particularly the bridge crane, its crane track and the lightweight storage hall system VEDE[®]. Furthermore the loading strengths, according to the ČSN – Czech Technical Standard, and the point of maximum flexural moment which then served as the basis for choice of an appropriate profile of a crane-track girder have been calculated. Using these parameters a strength field test, with the help of the FEM, and the design of the crane way have been carried out. The conclusion of the thesis offers various alternative solutions for the crane track; describes the assembly and everything is summed up from the economical perspective as well. The main aim of the thesis was to draft a crane track and its alternatives with regard to functionality and possible cost reduction. Drawing and design documentation can be found in the enclosure.

OBSAH BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

1	Úvod.....	9
2	Jeřáby	10
3	Mostový jeřáb	13
4	Jeřábová dráha	18
5	System VEDE®	19
6	Zadání pro výpočet jeřábové dráhy	20
7	Návrh konstrukce jeřábové dráhy	21
8	Zatížení jeřábové dráhy	22
8.1	Stálé zatížení jeřábové dráhy	24
8.2	Nahodilá zatížení jeřábové dráhy	25
8.2.1	Zatížení svislé od kol jeřábu (kolový tlak)	26
8.2.2	Normová vodorovná podélná brzdná síla	27
8.2.3	Normová vodorovná příčná brzdná síla.....	27
8.2.4	Normová vodorovná příčná síla od přičení a jiných nerovností.	28
8.2.5	Síla vyvozená nárazem jeřábového mostu na koncový nárazník	30
8.2.6	Zatížení klimatickými vlivy.....	30
8.2.7	Shrnutí zatížení	30
9	Návrh vhodného profilu jeřábové dráhy	31
9.1	Předběžný návrh velikosti HEA profilu.....	31
9.1.1	Dopočet tíhové zatížení	36
10	Výpočet celkového zatížení pomocí MKP v programu autodesk Inventor 2011	37
11	Konstrukční řešení jeřábové dráhy	41
12	Alternativní řešení jeřábové dráhy.....	44
12.1	Alternativní změny spojení dvou nosníků	44
12.2	Změna profilu HEA	46
13	Výroba a montáž jeřábové dráhy	49
14	Ekonomické zhodnocení.....	50
15	Závěr	52
16	Literatura.....	53
17	Seznam příloh	54

SEZNAM POUŽITÉHO ZNAČENÍ

Značka	Název	jednotka
A	délka nosníku	[mm]
B_n	podélná brzdná síla	[N]
B_{nv}	výpočtová podélná brzdná síla	[N]
B_{tn}	příčná brzdná síla	[N]
B_{tnv}	výpočtová příčná brzdná síla	[N]
C	rozdíl výšky háku a koleje JD	[mm]
G	reakce od vlastní tíhy	[N]
H_{tpn}	síla od přičení a jiných nerovností	[N]
H_{tpnv}	výpočtová síla od přičení a jiných nerovností	[N]
K	výška jeřábu	[mm]
L	rozpětí jeřábu	[mm]
L_{10}	maximální přiblížení břemene	[mm]
M	modul	[mm]
MB	moment k bodu B	[N.mm]
M_{omax}	maximální ohybový moment	[N.mm]
P	síla vyvozená tíhou kočky a břemene	[N]
R	mezera pod OK	[mm]
R_{max}	maximální kolový tlak	[N]
R_{maxd}	kolový tlak zvýšený o dynamický a zátěžový součinitel	[N]
R_{maxv}	výpočtový kolový tlak zvýšený o dyn. a zátěž. součinitel	[N]
V_b	nosnost jeřábu	[kg]
V_{cn}	reakce od síly vyvozená kočk. a břem. v krajní pozici	[N]
W_o	průřezový ohybový moment k ose x	[cm ³]
W_x	průřezový pohybový modul k ose x	[cm ³]
W_y	průřezový ohybový modul k ose y	[cm ³]
X_{dov}	dovolená příčná deformace	[mm]
Y_{dov}	dovolená svislá deformace	[mm]
b	šířka profilu	[mm]
h	výška profilu	[mm]
h_j	výška zdvihu	[mm]
k_d	součinitel bezpečnosti	[-]
m	hmotnost jeřábu bez kočky	[kg]

Značka	Název	jednotka
m_j	hmotnost jeřábu s kočkou	[kg]
m_k	hmotnost kočky	[kg]
m_{k1m}	hmotnost kolejnice délky 1m	[kg]
m_{1m}	hmotnost profilu délky 1m	[kg]
q	spojité zatížení na 1mm násobené součinitelem zatížení	[kg/mm]
q_v	spojité zatížení na 1mm	[kg/mm]
r	rozvor kol	[mm]
r_1	poloměr zaoblení profilu	[mm]
s	tloušťka stojiny	[mm]
t	tloušťka příruby	[mm]
u	kolmost	[mm]
v_p	rychlost pojezdu	[m/min]
v_z	rychlost zdvihu	[m/min]
ΣF_{iy}	suma všech sil v ose y	[N]
γ_F	součinitel zatížení	[-]
δ_h	dynamický pojezdový součinitel	[-]
δ_t	dynamický zdvihový součinitel	[-]
δ	dynamický součinitel	[-]
λ	součinitel přičení	[-]
λ_p	koefficient pro zjištění součinitele přičení	[-]
σ_{dov}	dovolené napětí, mez kluzu materiálu	[MPa]
σ_o	napětí v ohybu	[MPa]

1 ÚVOD

Cílem této práce je navrhnout jeřábovou dráhu, umístěnou ve skladovací hale společnosti Agrop Nova a.s, zároveň navrhnout alternativní řešení této dráhy a skrze ně se pokusit snížit celkové náklady na její návrh, výrobu, logistiku, montáž atd. Při řešení budeme postupovat podle zavedených norem a postupů pro návrh jeřábové dráhy a ocelových konstrukcí, využívaných zadávající společností Femont Opava s.r.o.. V první řadě zjistíme veškerá zatížení, ovlivňující jeřábovou dráhu, a to ze zadaných parametrů pro mostový jeřáb. Jedná se o zatížení stálá a zatížení nahodilá. Následně zjistíme místo s pro nás nejnejpříznivějším maximálním ohybovým momentem, kde následně z rovnice pro dovolené napětí v ohybu zjistíme vhodný profil jeřábové dráhy. Nosník poté namodelujeme i s kolejnicí v programu Autodesk Inventor 2011, v němž provedeme pevnostní analýzu, z jejíž výsledků poznáme, zda námi zvolený nosník vydrží a bude dle normy vyhovovat pro naše použití. V následující části navrhne vhodné konstrukční řešení spojení jednotlivých nosníků s nosnými prvky haly systému VEDE[®] a zároveň mezi sebou. Dále se budeme zabývat jinými alternativami řešení těchto spojení a pokusíme se naše výsledky aplikovat na jiný hlavní profil nosníku naší jeřábové dráhy. I tyto výsledky otestujeme pevnostní analýzou v programu Autodesk Inventor 2011. V závěru se budeme zabývat postupem pro výrobu a montáž naší jeřábové dráhy a shrneme si možné návrhy na snížení nákladů.

2 JEŘÁBY

Jeřáb je dopravní zařízení z kategorie zdvihadel. Slouží k přemísťování těžkých předmětů resp. břemen, které jsou nad rámec běžných schopností člověka. K tomu využívá nejčastěji kladnici a hák na laně (ocelové lano nebo řetězy), doplněné různými pojezdy a pohony [10]. Pracovní postup jeřábu je velmi jednoduchý, jedná se o zajištění břemene a jeho zvednutí, přesun po určité dráze na místo složení nákladu a jeho následné spuštění a odjištění. Jeřáby jsou obvykle nejčastěji používány v odvětví dopravy pro nakládání a vykládání nákladu, ve stavebnictví pro přesun materiálu na staveništi (např. při stavbách výškových budov), v různých místech těžebního a zpracovatelského průmyslu a v neposlední řadě také v odvětvích strojínského průmyslu (převážně těžkém průmyslu) pro montáž těžkého vybavení, ale najdeme je i jinde. Jeřáby můžeme rozdělit podle funkce a konstrukce do několika kategorií:

Hlavní části jeřábů:

- pohon
- zdvihací ústrojí
- pojízdné ústrojí, sklápěcí, otočné
- nosná konstrukce

Hlavní parametry jeřábů:

- jmenovitá nosnost – největší hmotnost dovoleného břemene (zkušební břemeno – předepsané při zatěžující zkoušce)
- rozpětí jeřábu
- jeřábový most – konstrukce, pojíždějící po zvýšené dráze
- jeřábová kočka – pojízdné zvedací zařízení, které se pohybuje po jeřábovém mostu
- výška zdvihu – svislá vzdálenost mezi nejnižší a nejvyšší polohou háku

Základní dělení jeřábů

Podle druhu pohonu

- ruční
- elektrický
- spalovací motor
- hydraulický

- pneumatický

Podle druhu pohybu hlavní části nosné konstrukce:

- pojízdné
- nepojízdné
- otočné

Podle typu charakteristické části uchopení břemene:

- s hákem
- drapákové
- chapadlové
- magnetické

Podle druhu vykonávané práce:

- montážní
- stavební
- dílenské
- železniční
- hutnické aj. ...

Požadavky na rychlost

- zvedací rychlost – rychlost háku při jeho rovnoměrném pohybu (m/min)
- pojízdná rychlost – rychlost pojezdu mostu (m/min)
- výkon jeřábu – udává se v počtu kg přeneseného materiálu za jednu hodinu dané vzdálenosti

První (stavební) jeřáby vynalezli už staří Řekové a po mnoho staletí byly poháněny výhradně lidskou silou nebo pomocí užitkového dobytka jako jsou třeba osli, koně nebo volové. Tyto jeřáby byly použity pro výstavbu výškových budov. Jeřáby z období středověku byly poháněny vodními či větrnými mlýny. Jeřáby, které byly zavedeny v 18. až 19. století, již můžeme nazvat parními stroji. Zde byla poprvé použita "mechanická" síla a mnohé z těchto parních strojů se používaly až do konce 20. století. U dnešních moderních jeřábů se obvykle používají spalovací motory, elektromotory a hydraulické systémy. Ačkoli tyto stroje poskytují mnohem větší zvedací kapacitu než bylo dříve možné, ruční zvedáky se dodnes mohou využívat. Avšak jejich nevhodné použití by bylo absurdní a

neekonomické. Co ale s jistotou můžeme říct je, že vývoj jeřábů a zdvihadel se nezastavil a neustálé zdokonalování v menší či větší míře stále probíhá.

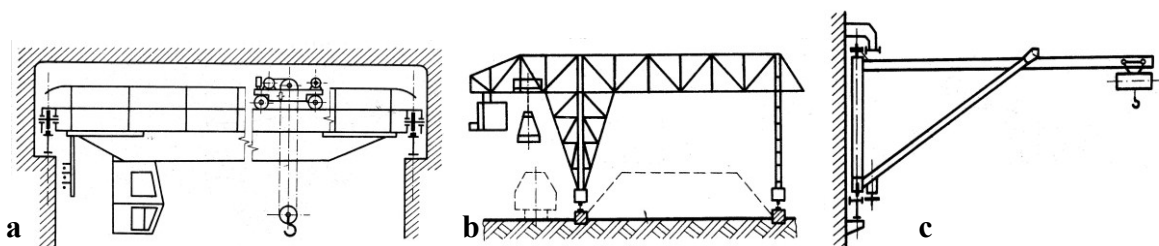
Jeřáby existují v obrovském množství různých variant – každá je šitá na míru konkrétního použití daného zařízení. Někdy velikosti sahají od nejmenších jeřábů, které se používají na dílnách, až po ty největší věžové jeřáby, používané při stavbách výškových budov.

Obecně každý jeřáb obsahuje:

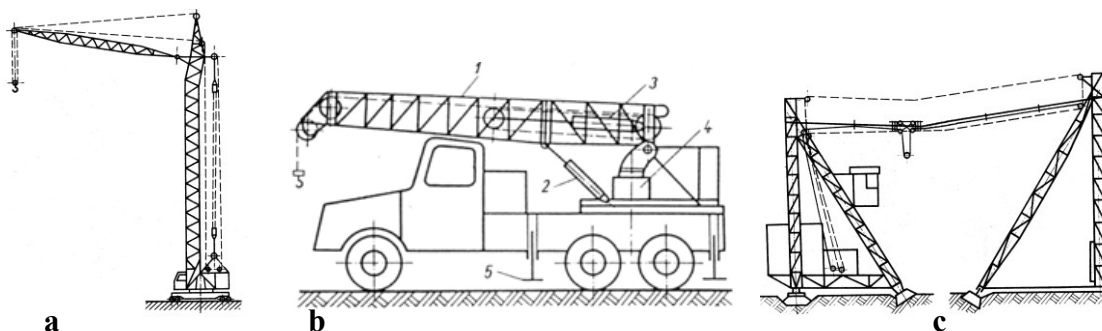
- nosnou konstrukci
- strojní zařízení
 - pojezdové zařízení
 - zvedací zařízení
 - otáčecí zařízení

Rozdělení jeřábů podle tvaru nosné konstrukce

- mostové (**obr. 2.1a**)
- portálové a poloportálové (**obr. 2.1b**)
- konzolové (**obr. 2.1c**)
- sloupové a věžové (**obr. 2.2a**)
- kolejové, silniční, plovoucí (**obr. 2.2b**)
- přístavní
- lanové (**obr. 2.2c**)



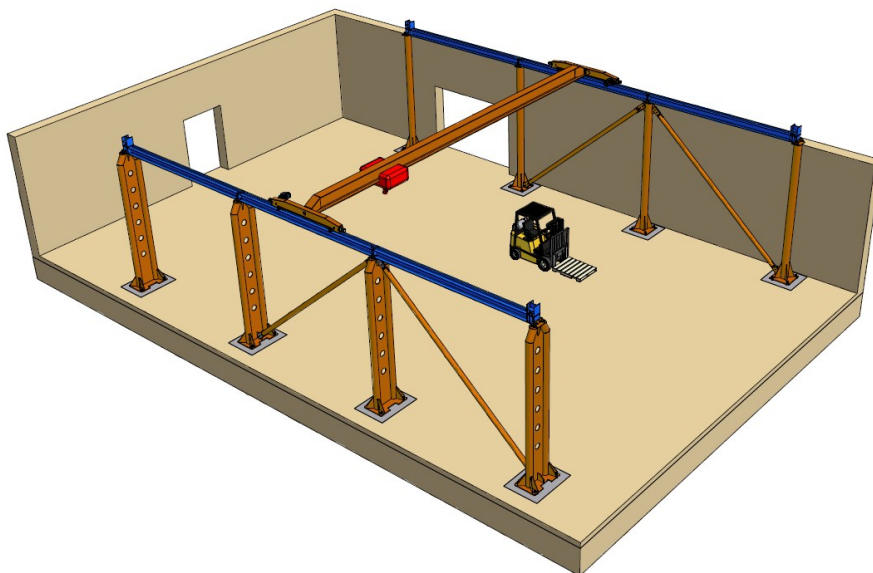
obrázek 2.1 a) mostový jeřáb; b) portálový jeřáb; c) konzolový jeřáb [3]



obrázek 2.2 a) věžový jeřáb; b) automobilový jeřáb; c) lanový jeřáb [3]

3 MOSTOVÝ JEŘÁB

Pro mou bakalářskou práci nás bude nejvíce zajímat právě jeřáb mostový (**obr. 3.1**). Mostovými jeřáby nazýváme ty druhy jeřábů, u nichž nosnou ocelovou konstrukci tvoří jeřábový most, pojíždějící po vyvýšené jeřábové dráze. Jedná se o jeden z nejčastěji používaných a navrhovaných jeřábů s využitím v průmyslových, výrobních, skladovacích halách a překladištích aj. prostorech- jak venkovních, tak vnitřních [11]. Tento jeřáb je stacionární zařízení, určené ke zvedání břemen po (obvykle) obdélníkové manipulační ploše. Dnešní konstrukce mostového jeřábu je tvořena ve velké míře plnostěnným jeřábovým mostem, jenž se pohybuje po kolejnicích jeřábové dráhy, avšak známe i jiná řešení konstrukce jeřábového mostu, například pomocí válcovaných profilů. Dnešní proto, protože ještě v ne úplně dávné době se využívalo převážně technického řešení příhradové konstrukce pro příčník mostového jeřábu. Pojíždění jeřábu zajišťuje pohon. Jedná se o elektromotor, přičemž se využívá řešení, kdy má každá strana vlastní elektromotor a tyto elektromotory musí být spolu plně synchronní, aby zajistily rovnoměrný pohyb celého jeřábového mostu (kdysi bylo konstrukční řešení prováděno pomocí jednoho elektromotoru zpraženého s pojezdem dlouhou hřídelí). Tyto motory pohání pojezdové ústrojí, tvořené obvykle párem pojezdových kol, namontovaných na přivařený příčník. Po jeřábu nahoře na mostě, uvnitř nebo i dole pojíždí jeřábová kočka. Jedná se o jakýsi vozíček na kolejnicích, který je poháněn vlastním elektromotorem a na němž je poté instalováno zvedací zařízení. To umožňuje zvedání břemene. Ovládání celého jeřábu je prováděno převážně dvěma způsoby řešení. Prvním je ovládání z výšky, kdy obsluha sedí v kabině, připevněné přímo k jeřábovému mostu a s celým jeřábem pojíždí. Druhým je řešení, kdy je ovládání prováděno ze země pomocí zavěšeného kabelového ovladače nebo dálkového ovladače. Řešení ovládání jeřábu ze země je dnes častěji využíváno. Spousta starších typů mostových jeřábů na našem území je dnes rekonstruována mnohými specializovanými firmami na moderní zařízení.



obrázek 3.1 mostový jeřáb umístěný ve skladovací hale [7]

Hlavní části mostového jeřábu

- Jeřábový most (příčník) - Jeřábový most se skládá z jednoho nebo dvou hlavních nosníků, na nichž jsou umístěny kolejnice pro pojezd kočky, dále pak z příčníků s pojezdovými koly a případně může být celá konstrukce doplněna lávkovými nosníky, opatřenými zábradlím a bezpečnostními prvky pro pohyb obsluhy či údržby jeřábového mostu resp. celého mostového jeřábu.
- jeřábová dráha - je popsána v samotné kapitole (**kap. 4**)
- vozík jeřábu, resp. kočka jeřábu
- zdvihací zařízení - je tvořeno poháněcím elektromotorem, navijákem s navíjecím bubnem, zdvihacím lanem či řetězem, závěsným prvkem (obvykle hák, ale můžeme se setkat s různými možnostmi řešení, jako například magnetický úchop aj. ...)
- pohon - o pohon se obvykle stará několik elektromotorů, které zároveň působí jako brzdící systém.
- ostatní příslušenství (koncové snímače, nárazníky, snímače pohybu, bezpečnostní prvky aj. ...)

Základní určující parametry pro mostové jeřáby

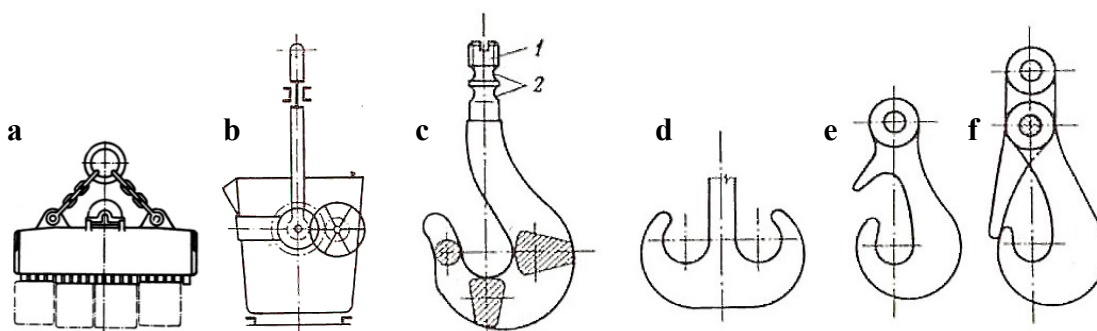
- nosnost - Mostové jeřáby u nás se vyrábí převážně s nosností v rozmezí od několika kilogramů až po 100t. V zahraničí se poté můžeme setkat s jeřáby, které mají větší nosnosti, obvykle je však rozmezí nosností jeřábů, vyráběných

v Česku, plně dostačující. U jeřábů musíme počítat s jistou bezpečností. Ta se volí vždy větší než 1, na což nesmíme zapomenout!

- modulové rozpětí lodi (haly), eventuelně rozpětí jeřábu, - bývá až okolo 30m
- pracovní rychlosti
 - zdvihu,
 - pojezdu kočky (kladkostroje),
 - pojezdu mostu,
- výška zdvihu.

Podle tvaru nebo účelu rozeznáváme mostové jeřáby

- běžné (normální) (**obr. 3.2c,d,e,f**)
- drapákové a magnetové (**obr. 3.2a**)
- zvláštní konstrukce
- hutní, aj.. (**obr. 3.2b**)



obrázek 3.2 Možné druhy přepravních zařízení na mostovém jeřábu [3]

a) magnetové; b) hutní; c,d,e,f) běžné konstrukce

Rozdělení mostových jeřábů

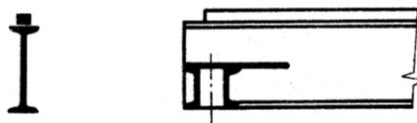
Mostové jeřáby můžeme rozdělit do několika skupin podle konstrukce, nosnosti a provozních podmínek.

Elektrické mostové jeřáby rozdělujeme do skupin v závislosti na provozních podmínkách na:

- jeřáby pro velmi lehký provoz - jeřáby občasně pracující
- jeřáby pro lehký provoz - např. montážní jeřáby ve strojovnách
- jeřáby pro střední provoz - např. stavební jeřáby
- jeřáby pro těžký provoz - např. dílenské jeřáby od 5t
- jeřáby pro velmi těžký provoz - např. sázecí jeřáby, u hlubinných pecí kovací jeřáby

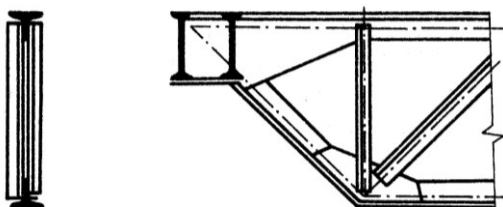
Rozdělujeme je také podle ocelové konstrukce (nosníku) jeřábu na:

- z válcovaných profilů (**obr. 3.3**) - Jedná se o válcované profily za tepla, dá se říct, že se jedná o nejlehčí variantu.



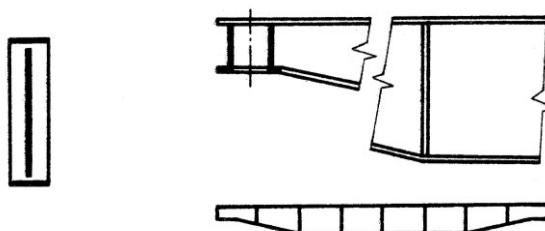
obrázek 3.3 konstrukce jeřábového nosníku z válcovaných profilů [3]

- příhradové (**obr. 3.4**) - svařené z tvarové oceli nebo trubek - Jedná se o dnes již málo využívanou variantu.



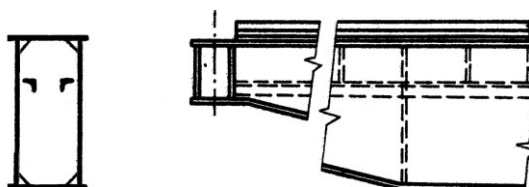
obrázek 3.4 příhradová konstrukce jeřábového nosníku [3]

- plnostěnné (**obr. 3.5**) - svařené ze stojiny a dvou pásnic



obrázek 3.5 plnostěnná konstrukce jeřábového nosníku [3]

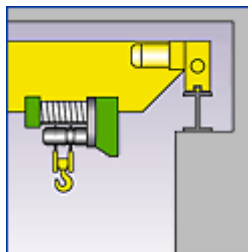
- skříňové (**obr. 3.6**) - svařeny ze dvou stojin a dvou pásnic - mají velmi dobrou tuhost



obrázek 3.6 skříňová konstrukce jeřábového nosníku [3]

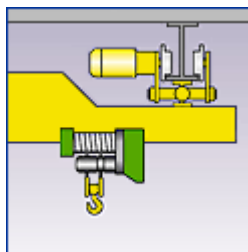
Rozdělení podle konstrukčního řešení na:

- **Jednonosníkový podpěrný mostový jeřáb (obr. 3.7)** - konstrukce s maximálním počtem geometrických variant provedení. Nejběžnější typ mostového jeřábu s vysokou spolehlivostí a životností, tichým provozem a možností nadstandardní výbavy. Nosnost 125 kg až 16 t, rozpětí do 40m. [8]



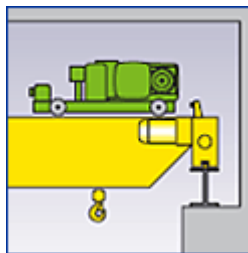
obrázek 3.7 Jednonosníkový podpěrný mostový jeřáb [8]

- **Jednonosníkový podvěsný mostový jeřáb (obr. 3.8)** - podvěsná konstrukce mostového jeřábu zajišťuje maximální možné pokrytí plochy pod jeřábem díky maximálnímu dojezdu kladkostroje do krajních pozic na mostu jeřábu či v případě, že nad nosníkem jeřábové dráhy již není místo pro vedení příčnicku jeřábu s pojezdovým ústrojím kočky. Nosnost 125 kg až 16 t, rozpětí do 40m. [8]



obrázek 3.8 Jednonosníkový podvěsný mostový jeřáb [8]

- **Dvounosníkový podpěrný mostový jeřáb (obr. 3.9)** - maximálně tuhá konstrukce pro nejvyšší zatížení v nejtěžších provozech a maximální rozpětí jeřábu. Dvounosníkové kočky dovolují maximální zdvih jeřábu při nízké zastavěné výšce. Jeřáby je možné vybavit pomocným zdvihem, kabinou, obslužnou lávkou a dalším příslušenstvím. Nosnost 125 kg až 100 t, rozpětí do 40m. [8]

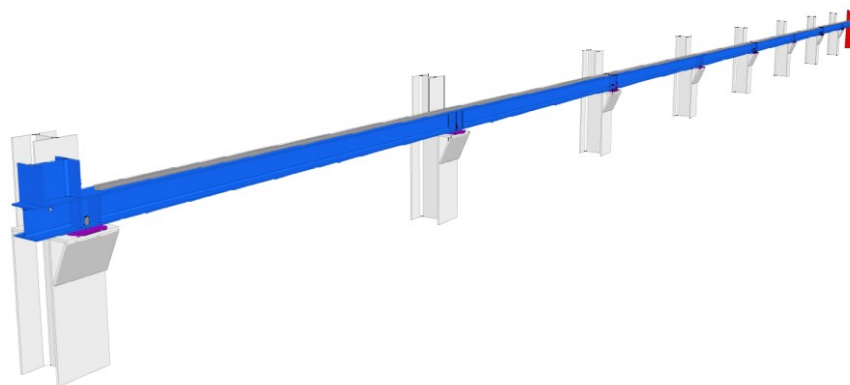


obrázek 3.9 Dvounosníkový podpěrný mostový jeřáb [8]

- **Vícenosníkový podpěrný mostový jeřáb** - na našem území i jinde ve světě se tato varianta moc nevyužívá, pro většinu velmi těžkých provozů je dvounosníkový podpěrný mostový jeřáb dostačující. [8]
- **Kombinovaný jedno či vícenosníkový mostový jeřáb** - jedná se o kombinaci podpěrného uložení s podvěsným. Tohoto řešení se využívá, jestliže konstrukční parametry haly neumožňují použití některého z výše uvedených příkladů či v případě, že se jedná o přání investora a to z jakéhokoliv důvodu (například potřeby plného využití prostoru na jedné straně jeřábové dráhy atd.).

4 JEŘÁBOVÁ DRÁHA

Konstrukce jeřábové dráhy (**obr. 4.1**) je tvořena ocelovými nosníky, které jsou podepřeny pomocí připravených konzol (patek) na konstrukci ocelových či betonových sloupů. Celá dráha je tvořena tak, aby nám dovozovala vykonávat práci jeřábu, kterou je veškerá manipulace břemeny. Hlavní nosníky jsou buď svařované, nýtované nebo z válcovaných profilů, na nichž je navařena kolejnice. Ve své podstatě se jedná o tyč čtvercového průřezu, po nichž pojíždí kola pojezdového ústrojí jeřábu. Při výrobě i montáži dráhy musíme zajistit, aby byla dráha v rovině!



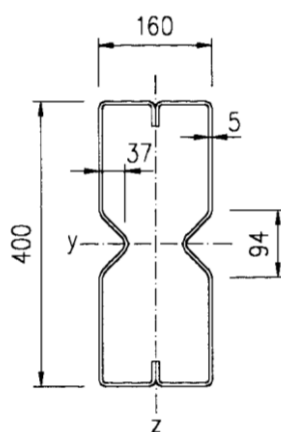
obrázek 4.1 jeřábová dráha tvořená nosníky stejného modulu [7]

Při návrhu jeřábové dráhy musí být jejím konstrukčním řešením splněny tyto požadavky:

- bezpečný provoz jeřábu pojíždějícího po jeřábové dráze z hlediska průjezdu a dojezdu jeřábu do koncového pole
- bezpečnost práce při obsluze, kontrole a údržbě jeřábu a jeřábové dráhy
- bezpečnost provozu pod jeřábovou drahou

5 SYSTÉM VEDE®

Společnost Femont Opava provádí výrobu a montáž ocelových hal a konstrukcí za pomoci systému VEDE. Tento systém navrhl a má patentován ing. Vladimír Danko. Systém VEDE dává projektantovi stavby k dispozici již optimalizovaný soubor nosných prvků ocelové konstrukce, které jsou tvarově a rozměrově buď zcela definovány, anebo slouží jako vzor pro vytvoření odlišných, ale podobných prvků. Nosný skelet a dispozice objektu se vytvoří složením jednotlivých prvků. Konstrukční princip tohoto systému umožňuje realizovat objekty pro všechny druhy činností. Pro náš případ je důležité, že systém VEDE® (**obr. 5.1**) může být vybaven mostovými jeřáby a může být pro tento případ i uzpůsoben. Doporučená vzdálenost příčných vazeb (modul M) je 6m. Lze jej změnit, zvětšit i zmenšit, avšak v obou případech to vyvolává větší spotřebu materiálu a cenu dodávky.

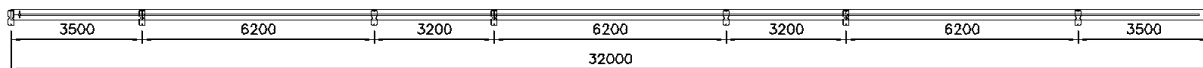


obrázek 5.1 základní konstrukční profil systému VEDE® [2]

6 ZADÁNÍ PRO VÝPOČET JEŘÁBOVÉ DRÁHY

Zadání rozměrů haly

Hala je navrhována a zároveň zkonstruována společností Femont Opava s.r.o. pro společnost Agrop Nova a.s. v Ptenském dvorku, kde slouží ke skladovacím účelům. Jedná se o klasickou plně zastřešenou halu, tudíž na dráhu nebudou působit žádné povětrnostní vlivy. Vzdálenost mezi sloupy (resp. hodnota uvádějící modul jeřábové dráhy) je uvedena na (obr. 6.1)



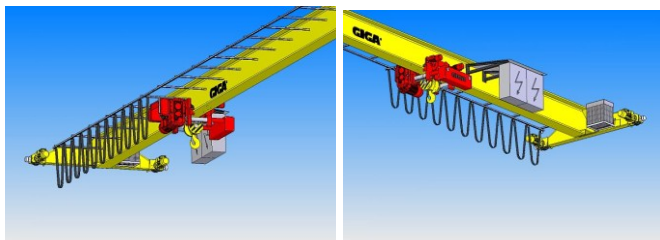
obrázek 6.1 Vzdálenost mezi sloupy resp. modul jeřábové dráhy

Zadání jeřábu

Parametry jeřábu, uváděné výrobcem, najdeme v tabulce (tab. 6.1). Jeřábový most je válcovaný nosník a kladkostroj pojíždí po spodní pásnici (obr. 6.2).

tabulka 6.1 parametry jeřábu uváděné výrobcem

parametr	hodnota	označení
typ		jednosníkový mostový jeřáb
označení		GJMJ 10t/15,4m s lanovým kladkostrojem GIGA
nosnost	V_b	10000kg
rozpětí jeřábu	L	15400mm
rozvor kol	r	2500mm
výška zdvihu	h_j	7500mm
hmotnost jeřábu bez kočky	m	3851kg
hmotnost jeřábu s kočkou	m_j	4835kg
hmotnost kočky	m_k	985kg
maximální přiblížení břemene	L_{10}	660mm
maximální kolový tlak	R_{max}	62,21kN
skupinová klasifikace		A4 dle ČSN ISO 4301/1
zatřídění jeřábu podle ČSN 270103		H2; D2; J3
rychlost zdvihu	v_z	0,8-5m/min
rychlost pojezdu mostu	v_p	0-40m/min



obrázek 6.2 jednoosníkový mostový jeřáb vyráběný společností GIGA s.r.o [9]

7 NÁVRH KONSTRUKCE JEŘÁBOVÉ DRÁHY

Celá konstrukce jeřábové dráhy je spočítána a navržena tak, aby splňovala všechny podmínky zadání pro jeřáb, zařazený do skupiny J3, tedy jeho začlenění do zdvihových tříd, druhu provozu atd. přesně podle zadaných hodnot výrobcem jeřábu společností GIGA s.r.o.

Výrobce uvádí jako pracovní režim jeřábu D2 - v tabulce (**tab. 7.1**) označen pod číslem 2 - střední. Jeřáb bude použit ve skladovací hale, zařazení pracovního režimu tedy souhlasí.

tabulka 7.1 tabulka pracovních režimů jeřábů [5]

Pracovní režim jeřábu	Druh jeřábu	Typické provozy s příslušným pracovním režimem jeřábů
lehký 1	hákové, s ručním pohonem	nemehanizované opravy; strojovny tepelných elektráren
střední 2	hákové, s elektrickými podvěsnými kočkami	mechanické a montážní dílny závodů s výrobou ve středně velkých seriích; mechanizované opravy; prostory, kde jsou nakládány a vykládány ojedinělé kusy
těžký 3	hákové, lici, kovací, kalici	dílny závodů s velkosériovou výrobou; nakládací a vykládací prostory (pokud nejde o manipulaci s ojedinělými kusy)
velmi těžký 4	drapákové, magnetové, k obsluze hlubinových pecí, beranidlové, korýtkové, ke stahování kokil, s poly-povým drapákem, šrotištní, sázecí	cechy hutnických závodů

8 ZATÍŽENÍ JEŘÁBOVÉ DRÁHY

Výpočet zatížení jeřábové dráhy je spočítán podle normy ČSN 73 0035 [5], kterou se řídí i zadávající firma Femont Opava. Mostový jeřáb zatěžuje jeřábovou dráhu třemi základními způsoby zatížení- tedy staticky, dynamicky a na únavu.

Stanovení součinitele zatížení

Součinitel zatížení γ_F povyšuje spočítané hodnoty o bezpečnost předepsanou normou, z které vycházíme - tedy ČSN 73 0035 [5] uvedené v tabulce (**tab 8.1**). Hodnota součinitele je obvykle větší než 1.

tabulka 8.1 Součinitel zatížení [5]

Druh jeřábu podle údajů technologické části projektu ²⁾	Součinitele zatížení γ_F pro	
	jeřáby u nichž $\frac{V_b}{m} \leq 1^{1)3)}$	jeřáby u nichž $\frac{V_b}{m} > 1^{1)3)}$
1	1,15	1,20
2	1,20	1,25
3	1,25	1,30
4	1,30	1,40

¹⁾ V_b – nosnost jeřábu, m – hmotnost jeřábu s kočkou, podle údajů výrobce nebo příslušných norem.
²⁾ Druhy jeřábů se specifikují podle ČSN 27 0103. Je-li na jeřábu použité zařízení proti přetížení, uvažuje se ve výpočtu součinitel zatížení pro druh jeřábu 1. skupiny.
³⁾ U jeřábů zajištěných proti přetížení se zavádí součinitel zatížení nejvýše hodnotou 1,25.

$$\frac{V_b}{m} = \frac{10000}{4835} = 2,1 \quad (8.1)$$

Poměr nosnosti a hmotnosti jeřábu vyšel větší než jedna. Na tomto základě spolu s určením pracovního režimu 2 střední volím součinitel zatížení $\gamma_F = 1,25$. Pro spojitě zatížení q , podélné a příčné brzděné síly B a B_t a síly od přičení H_{tp} je normou zadán součinitel zatížení $\gamma_F = 1,1$.

Stanovení dynamického součinitele

Dynamický součinitel nahrazuje účinky dynamických sil na jeřábové dráze. Jedná se o setrvačné, vodorovné a svislé síly, které vznikají uváděním jeřábu a jeřábové kočky s břemenem do pohybu, jejich brzděním, zvedáním břemene a spouštěním upevněného břemene. Dynamické účinky do výpočtu zavádíme použitím dynamického součinitele δ , kterým zvětšíme (vynásobíme) hodnoty výrobcem udávaného kolového tlaku, jak uvádí norma ČSN 73 0035 [5]. Hodnoty δ najdeme v tabulce (**tab. 8.2**).

tabulka 8.2 dynamický součinitel [5]

Rychlost pojezdu jeřábu v_x na dráze s kolejnicemi v $m \cdot s^{-1}$		Rychlost zdvihu břemene v_z v $m \cdot s^{-1}$, je-li				Součinitel δ při výpočtu ²⁾		
		$V_b/m \leq 1$	$V_b/m > 1^1)$					
stykovanými	bez styků nebo svařovanými	a je-li pracovní režim jeřábů ³⁾				jeřábové dráhy	podpor jeřábové dráhy	základů podpor
		libovolný	lehký a střední	těžký	velmi těžký			
$v_x \leq 1,0$	$v_x \leq 1,5$	$v_z \leq 0,5$	$v_z \leq 0,5$	—	—	1,1	1,0	1,0
$1,0 < v_x \leq 3,3$	$1,5 < v_x \leq 5,0$	$v_z > 0,5$	$v_z > 0,5$	$v_z \leq 0,5$	$v_z \leq 0,5$	1,2	1,05	1,0
$v_x > 3,3$	$v_x > 5,0$	—	—	$v_z > 0,5$	—	podle technologických podkladů, nejméně ale 1,2	1,15	1,0
—	—	—	—	—	$v_z > 0,5$	podle technologických podkladů, ale nejméně 1,3	1,2	1,0

¹⁾ Význam značek jako v tab. 9.
²⁾ Do výpočtu se zavádí vždy větší z hodnot δ odpovídající příslušné rychlosti pojezdu či zdvihu i příslušným doplňujícím podmínkám. Podmínky platí nezávisle na sobě.
³⁾ Roztřídění jeřábů do režimů viz tab. 8.

V první části tabulky určujeme dynamický pojezdový součinitel z rychlosti pojezdu jeřábu a typu spojení kolejnice s hlavním nosníkem jeřábové dráhy. Rychlost pojezdu celého jeřábového mostu je 0-40 m/min, což v maximu činí 0,67 m/s. Z toho vyplývá, že rychlost je menší než 1m/s, avšak z důvodu výrobcem předepsaného zařazení do zdvihové třídy H2, kde v zadání vycházel z ČSN 27 0103 [6], volím pojezdovou rychlost tak, aby při jakýchkoliv změnách nebyla rychlost zdvihu jeřábu omezena. Typ spojení kolejnice s nosníkem pomocí svařování, z toho vychází dynamický pojezdový součinitel $\delta_h = 1,2$.

V druhé části tabulky určujeme zdvihový dynamický součinitel a vycházíme z rychlosti zvedání břemene, poměru nosnosti ku hmotnosti samotného jeřábu s kočkou a pracovního režimu jeřábu. I když je rychlost zdvihu 0,8-5m/min- tedy v maximálním případě 0,083m/s- budeme volit větší než 0,5 ze stejného důvodu jako u první varianty, abychom neomezovali rychlost zdvihu do budoucna, resp. lehce zvýšili předimenzováním bezpečnost celé jeřábové dráhy. Hmotnostní poměr je jako ve vztahu (8.1), pracovní režim střední. Zdvihový dynamický součinitel poté vychází $\delta_t = 1,2$.

Pro náš výpočet vezmeme v úvahu pouze ten vyšší součinitel. Jelikož se pojezdový a zdvihový dynamický součinitel rovná, budeme dále ve výpočtu počítat s dynamickým součinitelem $\delta = 1,2$.

Rozdělení zatížení jeřábové dráhy

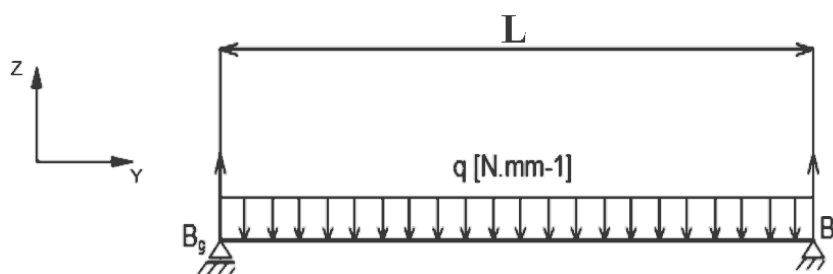
Základní rozdělení zatížení podle orientace (směru), polohy, velikosti a doby působení silového zatížení na jeřábovou dráhu na:

- **stálé zatížení** - Vlastní tíha nosníku jeřábové dráhy se všemi konstrukčními prvky (nosník, kolejnice, upevňovací prvky apod.). G
- **nahodilé zatížení**
 - Svislé zatížení od kol jeřábů - kolový tlak $R_{\max d}$
 - Podélná brzdná síla B_n
 - Příčná brzdná síla B_{tn}
 - Síla od přičení a jiných nerovnoměrností při pojezdu jeřábu H_{tpn}
 - Síla od nárazu jeřábu na koncové nárazníky
 - Síly od klimatických faktorů

8.1 Stálé zatížení jeřábové dráhy

Jedná se o zatížení, které není proměnné v čase a nemění svoji velikost, směr ani smysl působení. V našem případě by se mělo jednat o zatížení od hmotnosti, respektive vlastní tíhu celého jeřábového nosníku i s kolejnicí a konstrukčními prvky. Pro zjednodušení základního výpočtu budeme počítat pouze s hlavním nosníkem naší jeřábové dráhy a kolejnicí, protože váha ostatních prvků je k váze nosníku a kolejnice zanedbatelná. Ve vlastním výpočtu, který budeme realizovat pomocí metody konečných prvků v programu Autodesk Inventor, použijeme předefinovanou funkci zatížení - gravitace, která zatěžuje model strukturálně gravitačním zatížením o určité velikosti.

Zatížení vlastní tíhou budeme počítat jako spojité zatížení a přepočteme si ho na jeden milimetr délky. Rozložení zatížení je patrné ze schématu (**obr. 8.1**).



obrázek 8.1 rozložení tíhového zatížení na jeřábové dráze

$$q_v = \frac{m_{klm}}{1000} \cdot g + \frac{m_{lm}}{1000} \cdot g \quad (8.2)$$

$$q = \gamma_F \cdot q_v \quad (8.3)$$

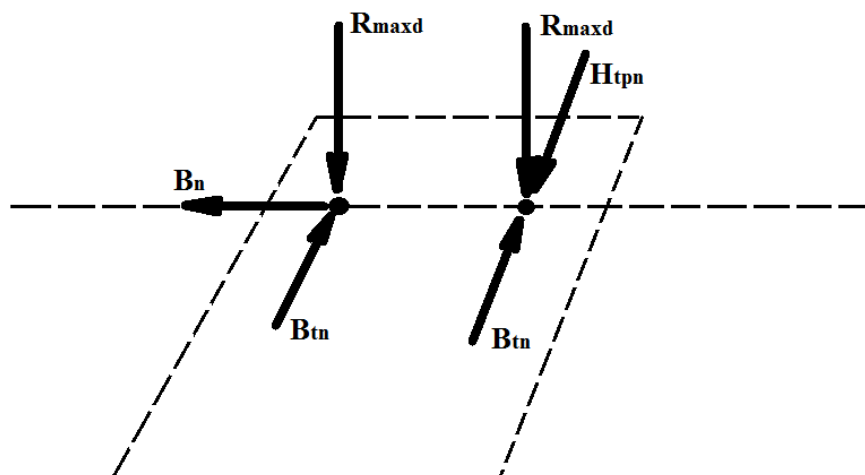
Výpočet posouvající síly od zatížení vlastní vahou

$$G = \frac{q \cdot l}{2} \quad (8.4)$$

Jelikož ještě nemáme zvolený profil jeřábové dráhy, nemůžeme dosadit. Jako první si vypočteme nahodilá zatížení, z nichž vyvodíme vhodný profil a následně do vztahů dosadíme konkrétní hodnoty. Při výběru profilu nesmíme zapomenout vzít v úvahu zatížení od vlastní tíhy nosníku.

8.2 Nahodilá zatížení jeřábové dráhy

Nahodilá zatížení jsou naopak od stalých zatížení v čase proměnná. Mění také svoji polohu, velikost, směr i smysl. Je nutné provést výpočet pro nejhorší případy zatížení, které v praxi mohou nastat. Výpočet těchto zatížení provedeme také podle normy ČSN 73 0035 [5]. Všechny zatěžující síly jsou vidět na schématu (**obr. 8.2**).



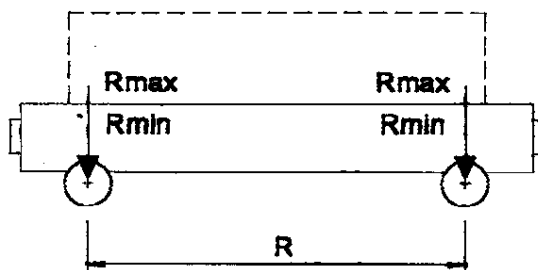
obrázek 8.2 schéma působení zatěžujících sil na nosník

Charakteristické zatížení jeřábových drah vychází z hodnot sil statických, vodorovných a svislých. Dynamické účinky jsou poté do těchto sil zavedeny pomocí součinitele dynamických zatížení δ .

- svislé
 - zatížení kol od vlastní konstrukce jeřábu, kočky i břemene
 - dynamické účinky svislých setrvačných sil při zdvihání a spouštění břemene (případně při manipulaci s tuhým výložníkem apod.) a při pojíždění jeřábu
- vodorovné
 - Příčné zatížení kol konzolových jeřábů, působících na jeřábovou dráhu, od hmotnosti konstrukce jeřábu a břemene
 - podélná brzdná síla od vodorovných setrvačných sil při pojíždění a brzdění jeřábu
 - příčná brzdná síla od setrvačných sil při rozjíždění a brzdění jeřábu
 - příčná síla od příčení a od jiných nerovnoměrností při pojezdu motorových jeřábů mostového typu, vedených na jeřábové dráze nákolky
 - podélná síla od nárazu jeřábu na koncové nárazníky

8.2.1 Zatížení svislé od kol jeřábu (kolový tlak)

Jedná se vlastně o zatížení od vlastní tíhy samotného jeřábu s kočkou i břemenem v nejnepříznivější situaci (**obr. 8.3**) - tzn., že jeřáb zvedá maximální hmotnost břemene v krajní pozici l_{10} . Výrobce garantuje, že samotný jeřáb je v této hodnotě navýšen o bezpečnosti, které udávají normy pro návrh a konstrukci mostového jeřábu. Hodnota R_{\max} , udávaná výrobcem, je tedy velmi pravdivá. Přesto tuto hodnotu ještě navýšíme o dynamický součinitel δ , jenž nám pokrývá dynamické účinky jeřábu při pohybu po jeřábové dráze.



obrázek 8.3 rozložení zatížení od vlastní tíhy jeřábu s kočkou a břemene na pojezdová kola resp. kolový tlak

$$\begin{aligned}
R_{\max v} &= R_{\max} \cdot \delta \\
R_{\max v} &= 62210 \cdot 1,2 \\
R_{\max v} &= 74652 N
\end{aligned}
\tag{8.5}$$

Vypočtený kolový tlak, zvýšený o součinitel zatížení γ_F

$$\begin{aligned}
R_{\max d} &= R_{\max v} \cdot \gamma_F \\
R_{\max d} &= 74652 \cdot 1,25 \\
R_{\max d} &= 93315 N
\end{aligned}
\tag{8.6}$$

K vypočtenému kolovému tlaku $R_{\max d}$, navýšenému o dynamický součinitel a součinitel zatížení. Můžeme říct, že vypočtená hodnota je úmyslně předimenzovaná tak, jak určuje norma.

8.2.2 Normová vodorovná podélná brzdná síla

Je účinkem setrvačných sil při rozjezdu a brzdění jeřábu. Působení síly se uvažuje obousměrně v místě dotyku kola jeřábu a kolejnice. U jeřábů s motorickým pohonem, což je náš případ, se vychází ze vztahu:

$$\begin{aligned}
B_{nv} &= 0,1 \cdot \Sigma V_n \\
B_{nv} &= 0,1 \cdot (2 \cdot R_{\max d}) \\
B_{nv} &= 0,1 \cdot (2 \cdot 93315) \\
B_{nv} &= 18663 N
\end{aligned}
\tag{8.7}$$

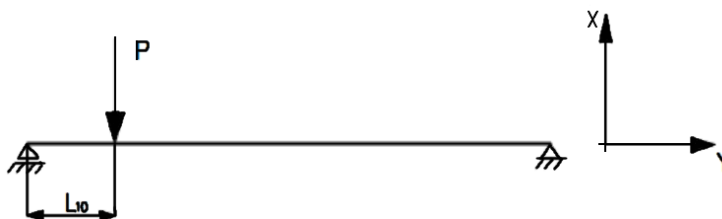
Výpočtová podélná brzdná síla, zvýšená o součinitel zatížení

$$\begin{aligned}
B_n &= \gamma_F \cdot B_{nv} \\
B_n &= 1,1 \cdot 18663 \\
B_n &= 20530 N
\end{aligned}
\tag{8.8}$$

8.2.3 Normová vodorovná příčná brzdná síla

Je účinkem setrvačných sil při rozjezdu a brzdění kočky s břemenem o maximální hmotnosti (v našem případě 10t) a to v krajní poloze L_{10} . Působení síly se uvažuje obousměrně v místě dotyku kol jeřábu a kolejnice. Pro jeřáb s motorickým pohonem vycházíme ze vztahu:

Síla vyvozená tíhou kočky s břemenem (**obr. 8.4**)



obrázek 8.4 síla vyvozená setrvačnými silami od kočky s břemenem.

$$\begin{aligned}
 P &= m_k \cdot g + V_b \cdot g \\
 P &= (m_k + V_b) \cdot g \\
 P &= (985 + 10000) \cdot 9,81 \\
 P &= 107763N
 \end{aligned}
 \tag{8.9}$$

Reakce od síly, kterou vyvozuje kočka s břemenem v krajní poloze

$$\begin{aligned}
 V_{cn} &= P \cdot \frac{L - L_{10}}{L} \\
 V_{cn} &= 107763 \cdot \frac{15400 - 660}{15400} \\
 V_{cn} &= 103145N
 \end{aligned}
 \tag{8.10}$$

Normová výpočtová vodorovná příčná brzdná síla

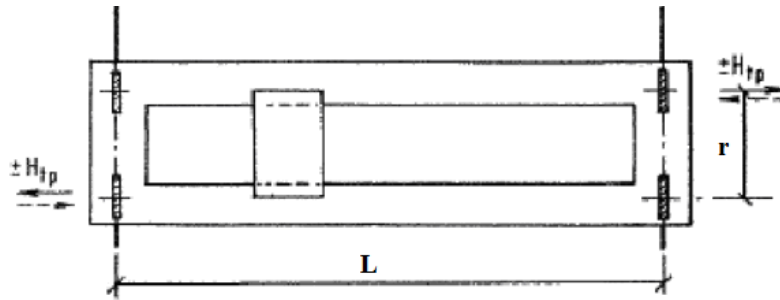
$$\begin{aligned}
 B_{inv} &= 0,1 \cdot V_{cn} \\
 B_{inv} &= 0,1 \cdot 103145 \\
 B_{inv} &= 10314,5N
 \end{aligned}
 \tag{8.11}$$

Výpočtová příčná brzdná síla, zvýšená o součinitel zatížení

$$\begin{aligned}
 B_{tn} &= \gamma_F \cdot B_{inv} \\
 B_{tn} &= 1,25 \cdot 10314,5 \\
 B_{tn} &= 12893N
 \end{aligned}
 \tag{8.12}$$

8.2.4 Normová vodorovná příčná síla od přičení a jiných nerovností při pojezdu.

Jde o výpočet síly, kterou vyvodí nákolky jeřábových kol, dosedajících na boční stěnu kolejnice (**obr. 8.5**). Důležité je si uvědomit, že nákolky působí na obou dvou stranách kolejí, avšak v opačném směru. Výpočet je proveden dle normy ČSN 73 0035 [5]. Součinitel λ zjistíme z grafu na obrázku (**obr. 8.6**)

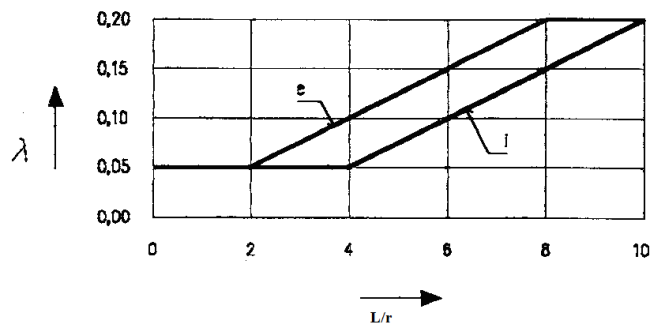


obrázek 8.5 směr působení vodorovné příčné síly od příčení a jiných nerovností při pojezdu [5]

$$\lambda_p = \frac{L}{r}$$

$$\lambda_p = \frac{15400}{2500}$$

$$\lambda_p = 6,16$$
(8.13)



Obrázek 8.6 určení součinitele λ [5]

Hodnota součinitele λ je stanovena podle křivky "i" ČSN 73 0035 čl. 122 odstavec a) pro jeřáby vedené ve směru jízdy nákolky na všech kolech, pro vnitřní jeřábové dráhy s typizovanými mostovými jeřáby.

Z grafu jsme zjistili součinitel příčení λ , který je roven přibližně hodnotě 0,15, se kterou budeme počítat.

Výpočtová síla od příčení a jiných nerovností při pojezdu

$$H_{tpnv} = \pm \lambda \cdot \Sigma V_n$$

$$H_{tpnv} = \pm \lambda \cdot (2 \cdot R_{\max d})$$

$$H_{tpnv} = \pm 0,15 \cdot (2 \cdot 93315)$$

$$H_{tpnv} = \pm 27994,5 N$$
(8.14)

Výpočtová síla od příčení a jiných nerovností při pojezdu, zvýšená o součinitel zatížení

$$H_{tpn} = \gamma_F \cdot H_{tpnv}$$

$$H_{tpn} = 1,1 \cdot 27994,5$$

$$H_{tpn} = 30794 N$$
(8.15)

8.2.5 Síla vyvozená nárazem jeřábového mostu na koncový nárazník

Zadavatel práce, společnost Femont Opava s.r.o., při výpočtu tuto sílu zanedbává a upravuje konec dráhy podle zkušeností s návrhy jeřábových drah, proto tuto sílu do výpočtu nezahrnuje. Také je zřejmé, že v místě největšího namáhání nedojde k nárazu na koncový nárazník, proto je nepočítání této síly zřejmě opodstatněné.

8.2.6 Zatížení klimatickými vlivy

Toto zatížení se stanovuje na základě mnohaletých, naměřených, nejnepříznivějších hodnot přímo pro danou oblast. Vypracovává se posudek, v němž se uvádí veškeré hodnoty měření, z nichž se vyberou ty nejvíce nepříznivé pro náš výpočet. Nami počítaná jeřábová dráha je umístěna v plně kryté skladovací hale, takže nemusíme u výpočtu uvažovat žádné klimatické faktory, jakými jsou hlavně zatížení sněhem a větrem.

8.2.7 Shrnutí zatížení

V tabulce (**tab. 8.3**) zjistíme maximální hodnoty zatížení, které ovlivňují jeřábovou dráhu a můžeme z nich usoudit, která budou nejvíce riziková.

tabulka 8.3 shrnutí zatížení

typ zatížení		velikost
stálá	Tíha hlavního nosníku a kolejnice (G)	4160N
nahodilá	Kolový tlak (R_{maxd})	93315N
	Podélná brzdná síla (B_n)	20530N
	Příčná brzdná síla (B_{tn})	12893N
	Síla od přičení a jiných nerovností (H_{tpn})	30794N

9 NÁVRH VHODNÉHO PROFILU JEŘÁBOVÉ DRÁHY

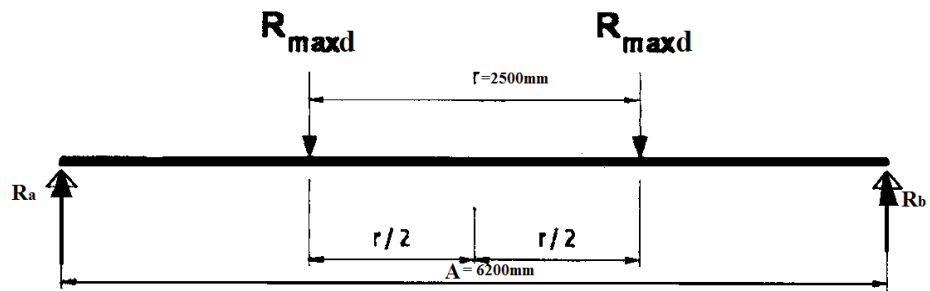
Po prvotní úvaze a následném prozkoumání konstrukčních řešení jeřábových drah, používaných na našem trhu, volím jako pro mne nejvhodnější hlavní nosník jeřábové dráhy, v praxi nejpoužívanější nosník profilu HEA. Je to vlastně tvarově upravený profil I, který dokáže mnohem lépe přenášet znatelně větší ohybová napětí než klasický I profil. Tento profil mi následně schválila i společnost Femont Opava s.r.o., jakožto zadavatel této práce. Sami tohoto řešení využívají pro konstrukci jeřábových drah, takže jsme v této otázce našli plnou shodu.

9.1 Předběžný návrh velikosti HEA profilu

K předběžnému návržení vhodného HEA profilu budeme vycházet pouze z ohybového zatížení. Pro výpočet vezmeme v úvahu zatížení vyvozené dvěma koly, které působí kolmo na hlavní nosník dráhy a jsou navýšené o dynamický a zátěžový součinitel, čímž jsme do výpočtu zavedli účinky provozních sil, působících na jeřábové dráze. Vzdálenost mezi nosnými sloupy, neboli modul, není na naší dráze shodný (viz. **obr. 6.1**), vezmeme proto pro výpočet úsek, v němž má dráha modul největší. V našem případě je to první úsek o vzdálenosti mezi podporami 9700mm. Tato část je nosník o třech podporách, tedy - staticky neurčitý. Provedl jsem proto výpočet a určil, že více nepříznivé bude nosník rozdělit a počítat jej jako nosník staticky určitý o dvou podporách, které od sebe mají větší vzdálenost, tedy v našem případě 6200mm. Zatížení nosníku a zatěžující síly od kol zavedeme do nejnepříznivější polohy, kde vyvodí maximální ohybový moment. Tuto polohu zjistíme pomocí základních statických výpočtů.

První varianta pro zjištění místa maximálního ohybového momentu

Jedná se vlastně o rovnoměrné rozložení sil (**obr. 9.1**) na obě dvě podpory, respektive zavedení působící síly do středu nosníku.



obrázek 9.1 rovnoměrné rozložení kolového tlaku

$$R_A = R_B = R_{\text{maxd}}$$

$$R_A = R_B = 93315\text{ N} \quad (9.1)$$

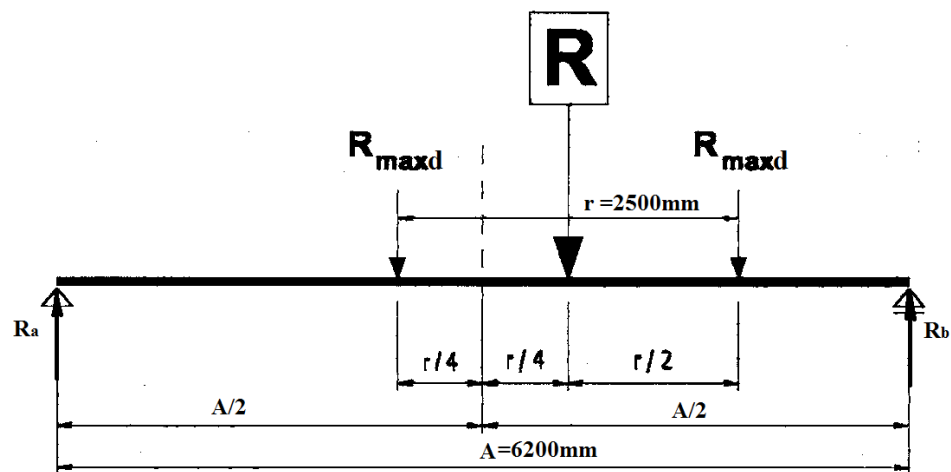
$$M_{O\text{max}} = R_A \cdot \frac{6200 - 2500}{2}$$

$$M_{O\text{max}} = 93315 \cdot 1850$$

$$M_{O\text{max}} = 172,63 \cdot 10^6 \text{ Nmm} \quad (9.2)$$

Druhá varianta pro zjištění místa maximálního ohybového momentu

Jedná se o rozložení sil, kdy kolový tlak je posunut na jednu stranu pouze o jednu čtvrtinu celé délky příčnicku A. Rozložení sil na nosníku je znázorněno na schématu (obr. 9.2)



obrázek 9.2 rozložení sil na nosníku s posunutím hlavní síly o jednu čtvrtinu

$$\begin{aligned}
M_B : R_{\max d} \cdot \left[\frac{A}{2} - \left(r - \frac{r}{4} \right) \right] + R_{\max d} \cdot \left(\frac{A}{2} + \frac{r}{4} \right) - R_A \cdot A &= 0 \\
M_B : R_{\max d} \cdot \left[\frac{6200}{2} - \left(2500 - \frac{2500}{4} \right) \right] + R_{\max d} \cdot \left(\frac{6200}{2} + \frac{2500}{4} \right) - R_A \cdot 6200 &= 0 \Rightarrow \\
M_B : R_{\max d} \cdot 1225 + R_{\max d} \cdot 3725 - R_A \cdot 6200 &= 0 \Rightarrow \\
\Rightarrow R_A = \frac{R_{\max d} (1225 + 3725)}{6200} & \\
R_A = \frac{93315 \cdot 4950}{6200} & \\
R_A = 74501N &
\end{aligned} \tag{9.3}$$

$$\begin{aligned}
M_{O\max} &= R_A \cdot \left(\frac{A}{2} - \frac{r}{4} \right) \\
M_{O\max} &= 74501 \cdot 2475 \\
M_{O\max} &= 184,4 \cdot 10^6 Nmm
\end{aligned} \tag{9.4}$$

Maximální ohybový moment v druhé variantě vychází o něco větší, tudíž budeme dále ve výpočtu počítat již s touto spočtenou hodnotou $M_{O\max} = 184,4 \cdot 10^6 Nmm$.

Pro úplnost si ještě dopočteme reakci R_B

$$\begin{aligned}
\Sigma F_{iy} : R_A + R_B - 2 \cdot R_{\max d} &= 0 \Rightarrow \\
\Rightarrow R_B = 2 \cdot R_{\max d} - R_A & \\
R_B = 2 \cdot 93315 - 74501 & \\
R_B = 112129N &
\end{aligned} \tag{9.5}$$

Výpočtová rovnice pro určení velikosti vhodného profilu HEA vychází ze vztahu (9.6). Pro výpočet je dále nutné zvolit vhodný materiál HEA profilu, jenž nám určí hodnotu σ_{DOV} . Materiál HEA profilu je z oceli 11 375 podle nového značení ocelí S 235JR, která nám zaručuje pro nás velice důležitou zaručenou svařitelnost a zároveň je i ekonomicky výhodná a pro naši dráhu dostačující. Dovolené napětí na mezi kluzu tohoto materiálu $\sigma_{DOV} = 235MPa$. Ostatní hodnoty bychom mohli zjistit z dodaného materiálového listu oceli. Nakonec si určíme hodnotu součinitele bezpečnosti pro ocel z tabulky (**tab. 9.1**)

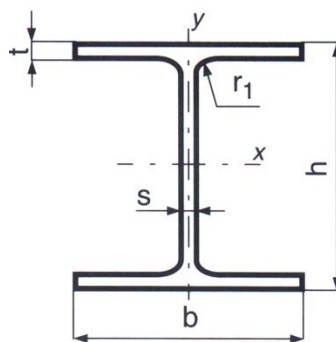
tabulka 9.1 součinitel bezpečnosti [1]

Materiál	Bezpečnost k
ocel	1,7 až 2
šedá litina	4,0 až 5
ocel kalená	2,5 až 4
hliník a jeho slitiny	8,0 až 10
dřevo	6,0 až 12
beton	4,0 až 8

Hodnotu součinitele bezpečnosti k_d volím 1,7 s ohledem na již zahrnuté součinitele bezpečnosti při zjišťování působících napětí.

$$\begin{aligned}\sigma_o &= \frac{M_o}{W_o} \leq \frac{\sigma_{DOV}}{k_d} \\ \sigma_o &= \frac{M_{o\max}}{W_o} \leq \frac{\sigma_{DOV}}{k_d} \Rightarrow \\ \Rightarrow W_o &= \frac{M_{o\max} \cdot k_d}{\sigma_{DOV}} \\ W_o &= \frac{184,4 \cdot 10^6 \cdot 1,7}{235} = 1333957 \text{ mm}^3 = 1334 \text{ cm}^3\end{aligned}\tag{9.6}$$

Pro námi spočítanou hodnotu průřezového ohybového momentu v ose x u nás y, volím ze stránek prodejce hutního materiálu Ferona.cz [12] profil HEA 340 (**obr. 9.3**) o parametrech uvedených v (**tab. 9.1**) s $W_{ox} = 1680 \text{ cm}^3$. Profil volím větší s ohledem na zvýšení tuhosti a bezpečnosti jeřábové dráhy. Ve výsledku musíme počítat s tím, že přivařená kolejnice nám průřezový ohybový moment v ose x u nás y ještě znatelně zvýší a účinky tíhového zatížení nebudou až tak velké.

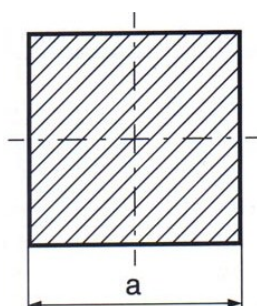


obrázek 9.3 HEA profil [12]

tabulka 9.1 parametry HEA profilu uváděné prodejcem hutního materiálu společnosti Feron [12]

Označení HEA		340
Šířka příruby	b	300 mm
Výška průřezu	h	330 mm
Tloušťka příruby	t	16,5 mm
Tloušťka stojiny	s	9,5 mm
Plocha průřezu		133 cm ²
Hmotnost		105 kg/m
Plocha povrchu		1,79 m ² /m
Mezní úchylka b		±4,0 mm
Mezní úchylka t		+2,5 mm -1,5 mm
Mezní úchylka h		+4 mm -2 mm
Mezní úchylka s		±1,0 mm
Rameno vnitřních sil		29,9 cm
Průřezový modul k ose ohybu x	W _x	1680 cm ³
Poloměr setrvačnosti k ose ohybu x		14,4 cm
Poloměr setrvačnosti k ose ohybu y		7,46 cm
Průřezový modul k ose ohybu y	W _y	496 cm ³
Statický moment poloviny průřezu		925 cm ³
Poloměr vnitřního zaoblení	r ₁	27 mm
Moment setrvačnosti k ose ohybu x		27690 cm ⁴
Moment setrvačnosti k ose ohybu y		7440 cm ⁴

Nyní zvolíme vhodný profil pro kolejnici. Kolejnice bude čtvercového průřezu 50x50mm a bude z kvalitnějšího materiálu S275. Tento materiál má dovolené napětí na mezi kluzu $\sigma_{DOV} = 275 \text{ MPa}$. S hlavním nosníkem jeřábové dráhy bude svařena. Profil pro kolejnici volím ze stránek prodejce hutního materiálu Feron.cz [12] stejně jako profil HEA 340. Její řez je na (obr. 9.4) o parametrech uvedených v (tab. 9.2).



obrázek 9.4 tyč čtvercového průřezu [12]

tabulka 9.2 parametry tyče čtvercového průřezu uváděné prodejcem hutního materiálu společností Feron [12]

Strana čtverce	a	50 mm
Poloměr zaoblení hran	r	≤ 2,5 mm
Hmotnost		19,6 kg/m
Plocha průřezu		25,0 cm ²
Mezní úchylka a		± 0,8 mm
Zkroucení		3°/m, max. 18°
Kolmost	u	1,50 mm
Přímost tyče		q ≤ 0,4 ‰ z L

9.1.1 Dopočet tíhové zátížení

Z váhy HEA profilu a hranolu dopočítáme stálé tíhové zátížení jeřábové dráhy viz. vztahy (8.1; 8.2 a 8.3).

$$q_v = \frac{m_{klm}}{1000} \cdot g + \frac{m_{lm}}{1000} \cdot g$$

$$q_v = \frac{19,6}{1000} \cdot 9,81 + \frac{105}{1000} \cdot 9,81 \quad (8.1)$$

$$q_v = 1,22 \text{ kg/mm}$$

$$q = \gamma_F \cdot q_v$$

$$q = 1,1 \cdot 1,22 \quad (8.2)$$

$$q = 1,342 \text{ kg/mm}$$

Výpočet posouvající síly od zátížení vlastní vahou

$$G = \frac{q \cdot L}{2}$$

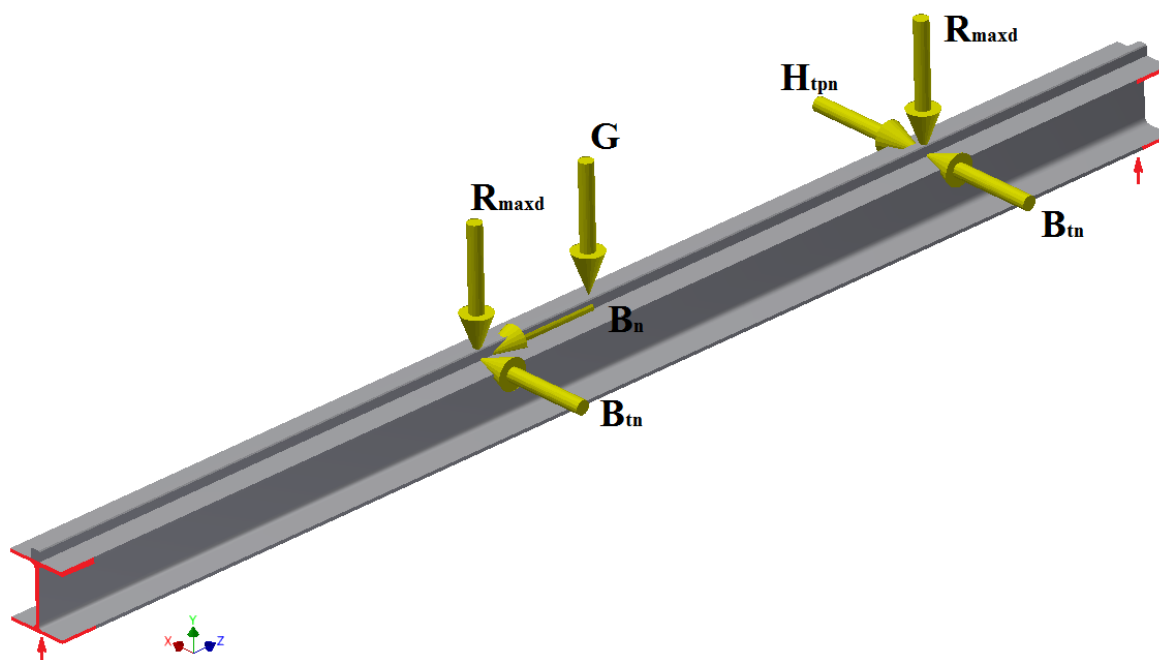
$$G = \frac{1,342 \cdot 6200}{2} \quad (8.3)$$

$$G = 4160 \text{ N}$$

10 VÝPOČET CELKOVÉHO ZATÍŽENÍ POMOCÍ MKP V PROGRAMU AUTODESK INVENTOR 2011

Celý jeden prvek jeřábové dráhy (hlavní nosník profilu HEA 340, kolejnice tvořena hranolem 50x50) bude zatížen pomocí MKP v programu Autodesk Inventor 2011. Nosič byl pro potřeby výpočtu zjednodušen a připraven tak o detaily jako čelní desky šroubová spojení, svary, podložky apod.

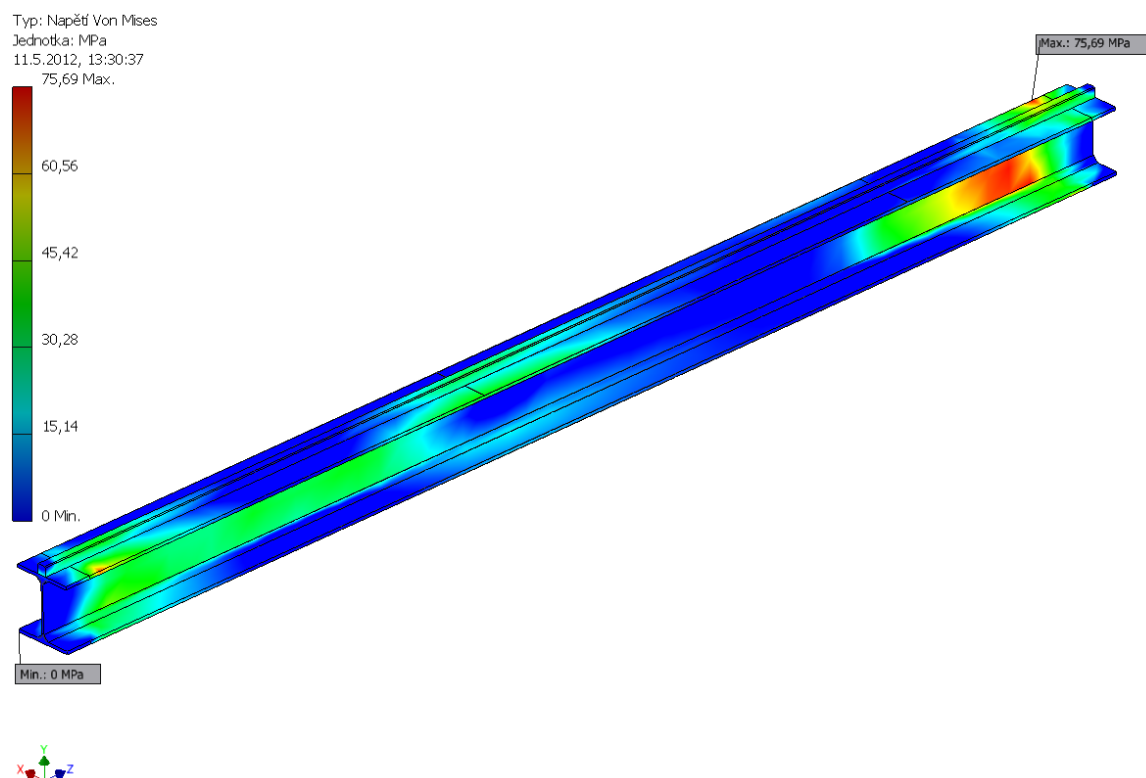
Materiál byl naprogramován pro přesné hodnoty ocelí 11 375, neboli S235 JR pro profil HEA 340 a S275 pro kolejnici. Nosiči byly zadány tři druhy podpor a definovány jako pevné vazby. První vymezuje pohyb v ose Y a je na spodních okrajích HEA profilu v délce 125mm. Nosič je zde připevněn k desce se šrouby, která leží na nosných konzolách a podpěrném sloupu. Druhá vymezuje pohyb v ose Z. Umístěna je na ploše čelní desky, kde nahrazuje téměř pevné spojení s dalším nosníkem pomocí čtyř šroubů. Poslední vymezuje pohyb v ose X. Je definována samostatně na třech místech a to na horním i dolním bočním konci HEA profilu a zároveň pomocí kruhové plochy, jež nahrazuje spojení nosníku se sloupem nosné konstrukce a je prováděna přes závitovou tyč s maticemi. Působící zatížení bylo umístěno do nejnepříznivější polohy resp. do místa maximálního ohybového momentu (**obr. 9.2**). Jedná se o svislé zatížení od kolového tlaku, který je vynásoben dynamickým a zátěžovým součinitelem. Vodorovné podélné zatížení od podélné brzdě síly. Vodorovné příčné zatížení od příčné brzdě síly, které působí v místě dotyku obou kol a síly od přičení a jiných nerovností, která se koncentrovala do koncových kol mostu, vždy na obou větvích jeřábové dráhy proti sobě. Nakonec byl celý nosník zatížen předdefinovanou tíhovou silou, naprogramovanou přímo v programu Autodesk Inventor 2011. Zátěžový model můžeme vidět na obrázku (**obr. 10.1**). Zátěžovací schéma jeřábové dráhy je stanoveno pro pojezd jednoho případně dvou jeřábů s vyloučením možnosti jejich sjíždění.



obrázek 10.1 zátěžový model s popisem působících sil před výpočtem

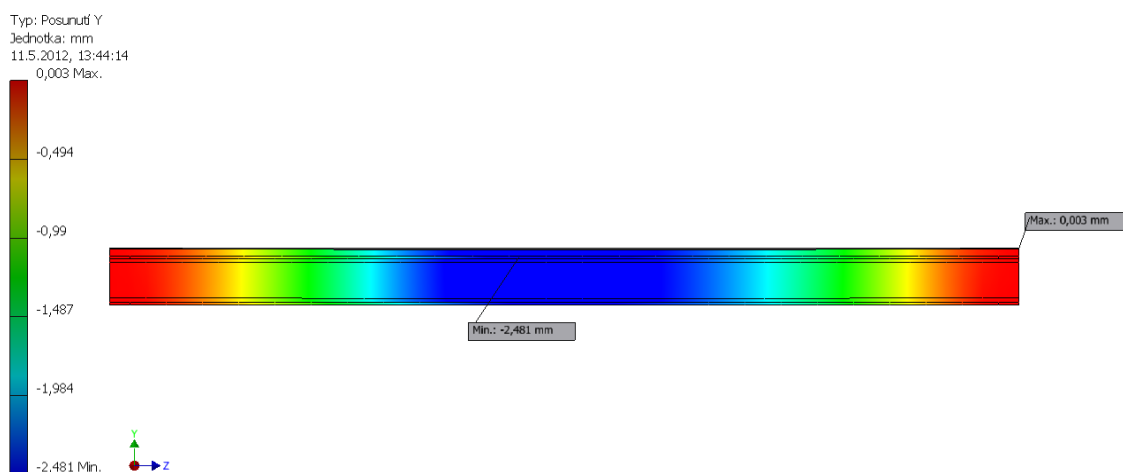
Červeně vyznačené konce znázorňují místa, kde jsou definovány vazby. Bohužel tento pohled nedovoluje znázornění všech pevných vazeb na modelu.

Výsledné napětí (**obr. 10.2**) bylo spočítáno podle metody H-M-H (anglicky von Mises) a v místě maximálního ohybového momentu se pohybuje v rozmezí od téměř nulových hodnot až do přibližně 50 MPa. Nosník je takto předimenzován, abychom dosáhli potřebné tuhosti. Tyto hodnoty jsou v závislosti na zvoleném materiálu 11 375 s dovoleným napětím na mezi kluzu $\sigma_{DOV} = 235 \text{ MPa}$ vyhovující. Napětíový extrém 75,69 MPa je způsoben podporou, nutnou pro výpočet s kombinací lokálního zhuštění sítě. V praxi nenastane, můžeme ho tedy zanedbat.

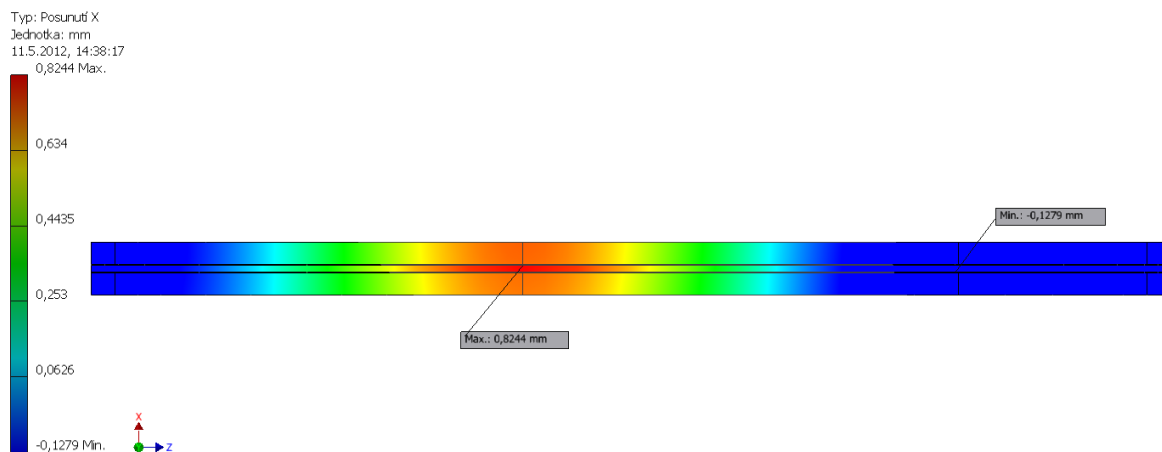


obrázek 10.2 výsledek napět'ové analýzy
napět'ový extrém je způsoben podporou a v praxi nenastane

Výsledná deformace byla rozdělena do osy Y, působící svisle, a osy X, působící vodorovně příčně. Maximální průhyb v ose Y (**obr. 10.3**) je roven 2,481mm, což podle normy ČSN 73 1401 [4] která dovoluje svislou deformaci vztahem (10.1), vyhovuje. Maximální deformace v ose X (**obr. 10.4**) je rovna 0,8244mm a podle téže normy ČSN 73 1401 [4] vztah (10.2) také vyhovuje.



obrázek 10.3 deformace v ose Y



obrázek 10.4 deformace v ose X

Dovolená svislá deformace podle normy ČSN 73 1401 [4]

$$Y_{dov} > \frac{1}{600} \cdot L$$

$$Y_{dov} > \frac{1}{600} \cdot 9700 \quad (10.1)$$

$$Y_{dov} > 16,167 \text{ mm} \Rightarrow \text{nosník} _ \text{vyhovuje}$$

Dovolená příčná deformace v nosníku podle normy ČSN 73 1401 [4]. Dělitel se může pohybovat v rozmezí od 1000 do 1500, podle uvažovaného prostorového působení okolních vazeb. Volím dělitel 1500.

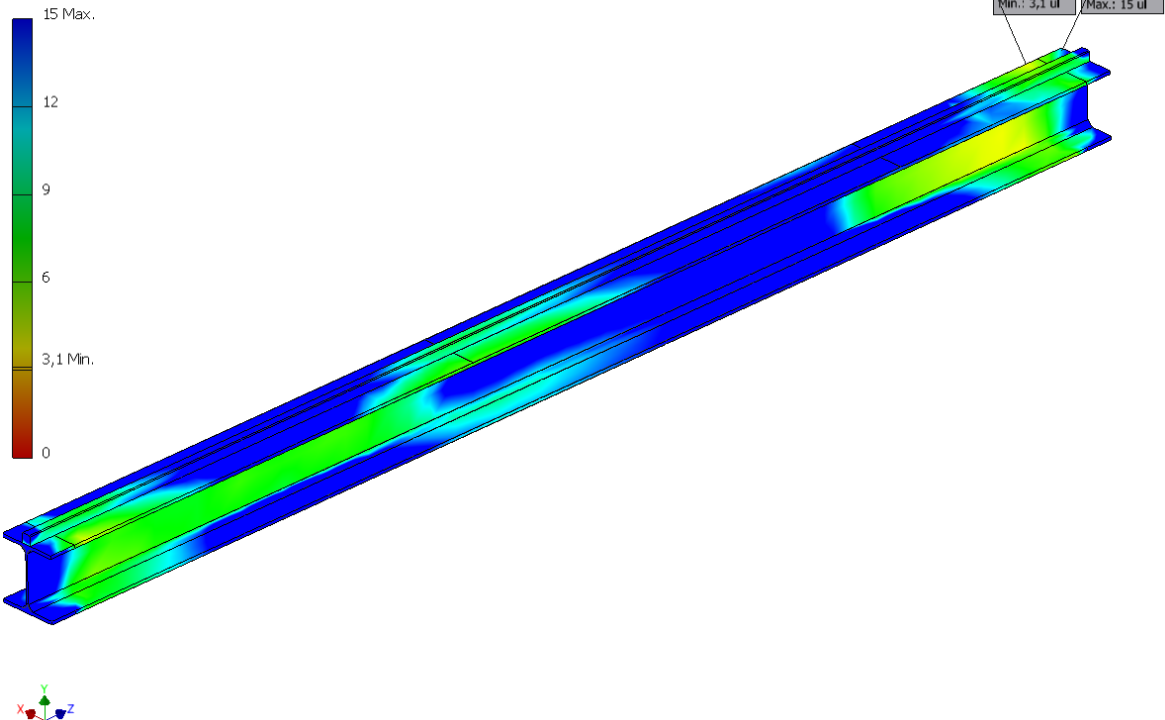
$$X_{dov} > \frac{1}{1500} \cdot L$$

$$X_{dov} > \frac{1}{1500} \cdot 9700 \quad (10.2)$$

$$X_{dov} > 6,467 \text{ mm} \Rightarrow \text{nosník} _ \text{vyhovuje}$$

Závěrem analýzy MKP je také hodnota součinitele bezpečnosti (**obr. 10.5**) na počítaném nosníku s ohledem na zvolený materiál. Minimální hodnota je opět v oblasti podpory, kde v praxi nejspíše bude vyšší a je opět způsobena podporou, nutnou pro výpočet. Hodnoty součinitele bezpečnosti v oblasti maximálního ohybového momentu jsou v rozmezí od 4,5 až do 15.

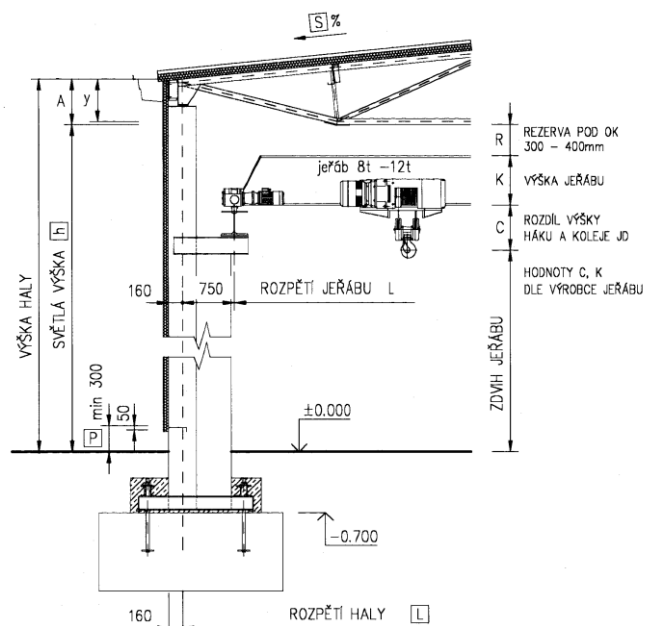
Typ: Součinitel bezpečnosti
Jednotka: ul
11.5.2012, 13:43:11



obrázek 10.5 výsledný součinitel bezpečnosti spočítaný programem Autodesk Inventor 2011

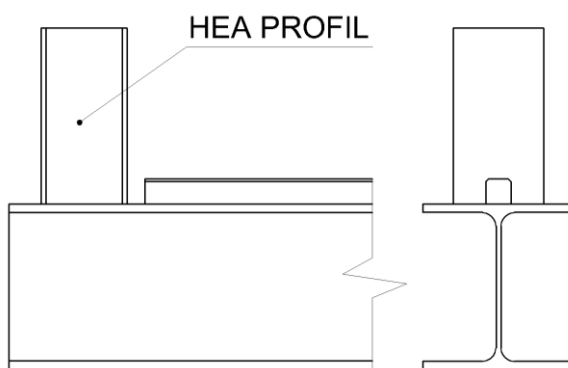
11 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ JEŘÁBOVÉ DRÁHY

Jeřábová dráha bude řešena podle návodu k projektování lehké haly v systému VEDE[®] (obr. 11.1) pro jeřáb s nosností v rozmezí 8 - 12t. Jiného řešení zadávající společnost Femont Opava s.r.o. nevyužívá.



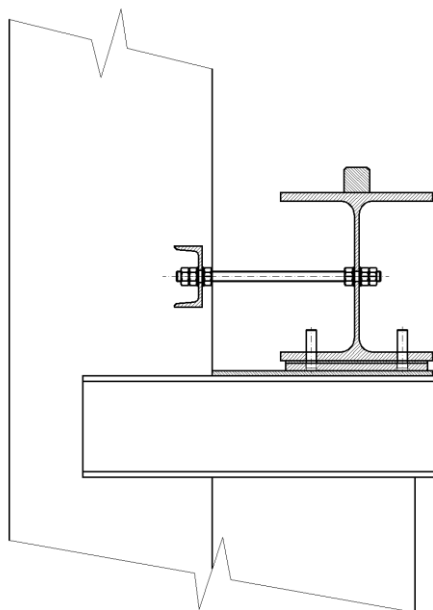
obrázek 11.1 Konstrukční řešení jeřábové dráhy v systému VEDE[®] pro jeřáb nosnosti 8-12t [2]

Z důvodu rozdílného modulu mezi sloupy, který je způsoben vložením vrat, budeme mít na jedné straně jeřábové dráhy 4 nosníky o délkách 1 x 9700mm, 2 x 9400mm a 1 x 3500mm. Každý z nich bude mít na svých stranách přivařeny čelní desky s otvory, skrz ně budou pomocí šroubů M20 matice a podložky smontovány. Pouze krajní prvky nebudou opatřeny čelní deskou, ale budou mít na sobě navařen profil HEA 180, který bude fungovat jako koncový nárazník (**obr. 11.2**). Na spodní stranu každého nosníku budou vyvrtány 2 podélné otvory a jeden otvor do jeho stojiny, který bude také proveden u kraje. Přes tento otvor a otvor v U profilu přivařeném k nosnému sloupu bude protáhnuta závitová tyč přitažená maticemi (**obr. 11.3**). Toto spojení slouží pro rektifikaci dráhy a zároveň přenáší boční síly. Přes spodní dva otvory bude nosník spojen s ocelovou deskou, na níž budou přivařeny šrouby a celá deska bude přivařena k nosným konzolám (**obr. 11.3**). Kolejnice bude s HEA profilem svařena a styk dvou kolejnic bude prováděn pod úhlem 45°, kdy jedna kolejnice bude zkrácena a druhá bude mít malý přesah. Kolejnice je z materiálu S275, tedy lepšího než zbytek nosníku. Je tomu proto, že kolejnice bude více namáhána na otlačení od pojíždějících kol na příčniku jeřábu. Spojení dvou nosníků můžeme vidět na obrázku (**obr. 11.4**). Nakonec bude na každý nosník přivařen jeden šroub M10, na nějž se po dokončení jeřábové dráhy připojí uzemnění a celá dráha bude poté natřena ochranným nátěrem.

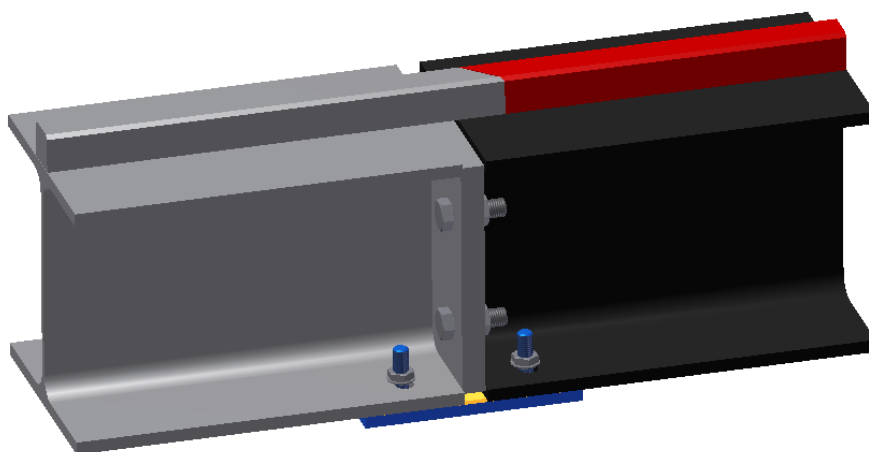


obrázek 11.2 ukončení jeřábové dráhy

Je provedeno bez čelní desky s přivařeným nárazníkem profilu HEA 180 a zkrácením poslední kolejnice.



obrázek 11.3 spojení nosníku s podpěrnými konzolami a nosným sloupem



obrázek 11.4 Montované spojení dvou nosníků

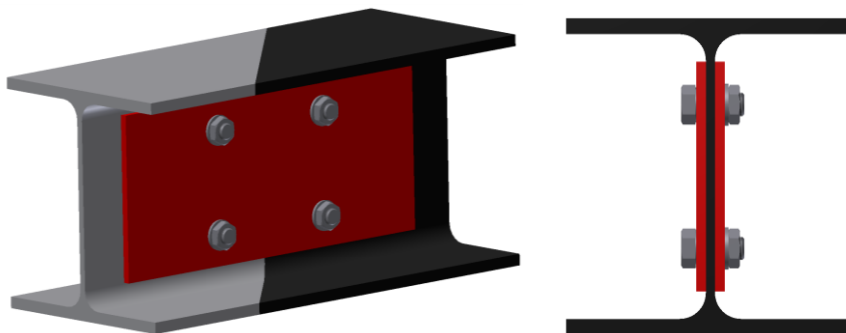
12 ALTERNATIVNÍ ŘEŠENÍ JEŘÁBOVÉ DRÁHY

Výše počítaná jeřábová dráha byla navržena a spočítána podle doposud používaného řešení zadávající firmy Femont Opava s.r.o. Za účelem možné inovace či snížení nákladů jsem se pokusil navrhnout několik alternativních řešení konstrukce jeřábové dráhy či možných úprav stávajícího řešení. Variant byla navržena celá řada, avšak po konzultaci s projekčním oddělením firmy Femont jsem došel k závěru, že většina z nich ani částečně nesplňuje podmínky inovace, řešitelnosti, funkčnosti, technické proveditelnosti a to za předpokladu možného snížení nákladů. Přesto se mi podařilo najít několik možných řešení jeřábové dráhy.

12.1 Alternativní změny spojení dvou nosníků

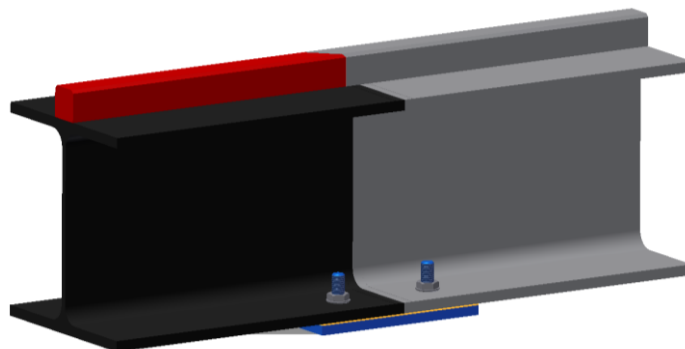
První varianta (**obr. 12.1**) počítá s nahrazením navařené čelní desky s otvory a to seříznutím HEA profilu do úkosu 45° nebo ještě lépe 30° , při nichž již je zaručena dobrá styková plocha obou profilů. Na stojinu by byl navařen plech tloušťky 10mm a více, rozměrů odpovídajících zvolenému HEA profilu a to tak, že plech bude na každý profil přivařen z jedné strany, čímž dojde ke správnému zuhlování zbytku nosníku. V plechu budou souose vyvrtány 4 otvory, skrz které se profily k sobě smontují za pomoci lícovaných šroubů, matic a podložek. Stranové uchycení by bylo provedeno jako u varianty, kterou společnost Femont využívá, tedy plechem se čtyřmi šrouby, stejně tak poté umístění kolejnice, která by měla být seříznuta ve stejném úhlu jako zbytek profilu a na jednom konci bude přesahovat.

Problém této varianty je v tom, že je použito více materiálu a složitější technologie, zároveň se zvýší odpad a tudíž se nám tímto řešením nepodařilo snížit cenu. Dalším zádrhelem je to, že pevnostní podmínky této varianty nejsou stejně příznivé jako u varianty, která je firmou dnes používána, zároveň šrouby by měly být pečlivě spočítány na cyklickou únavu.



obrázek 12.1 spojení profilů pod úhlem 45° a podélné desky

Druhá varianta (**obr. 12.2**) je vlastně zjednodušení výše uvedených řešení. Konce profilů nejsou nijak upravovány, pouze je zde opět použito upevnění pomocí desky se šrouby. U tohoto řešení by docházelo k pohybu a to oddalováním a přibližováním horní pásnice a koleje. Museli bychom v tomto případě, nejlépe za pomoci přípravku, dát oba profily k sobě do ideální pozice a přivařit je. Varianta je možná jednodušší a dokonce nejspíše i lehce ekonomicky výhodnější, avšak spojení za pomoci svaru je nerozebratelné, což nám znemožňuje či zhoršuje případnou demontáž dráhy třeba za účelem rekonstrukce.



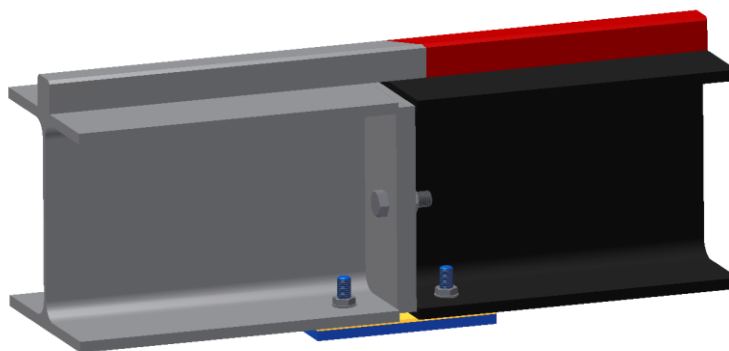
obrázek 12.2 svarové spojení dvou nosníků

Třetí variantou (**obr. 12.3**) jsou všemožná spojení kolejnice například pomocí vyřezaného klínu a obráceného klínu na druhém hranolu. Už od prvního pohledu je tato varianta neekonomická a dá se říct zbytečná, i když za určitých podmínek by mohla najít svá uplatnění, ale rozhodně ne v našem případě, kde použití kolejnice, na níž je styk prováděn pod úhlem 45° , je zároveň doporučován normou pro návrh a konstrukci jeřábové dráhy.



obrázek 12.3 spojení kolejnic pomocí tvarového styku

Poslední uváděnou variantou (**obr. 12.4**) je řešení, dá se říct podobné variantě, která je dnes firmou Femont využívána. Namísto čtyř šroubů pro spojení navařených dvou čelních desek je využíváno pouze dvou šroubů umístěných uprostřed. Toto jednoduché řešení je určitě částečně finančně výhodnější, ale zároveň je i z pevnostního a funkčního hlediska lepší, jelikož nahrazuje dá se říci tuhou vazbu do jisté míry kloubovou a tím nám snižuje napětí. Projekční oddělení ve firmě se možností tohoto řešení již zabývá a je velmi pravděpodobné, že pro příští zakázku na konstrukci jeřábové dráhy již bude využito.



obrázek 12.4 řešení spojení pomocí dvou šroubů

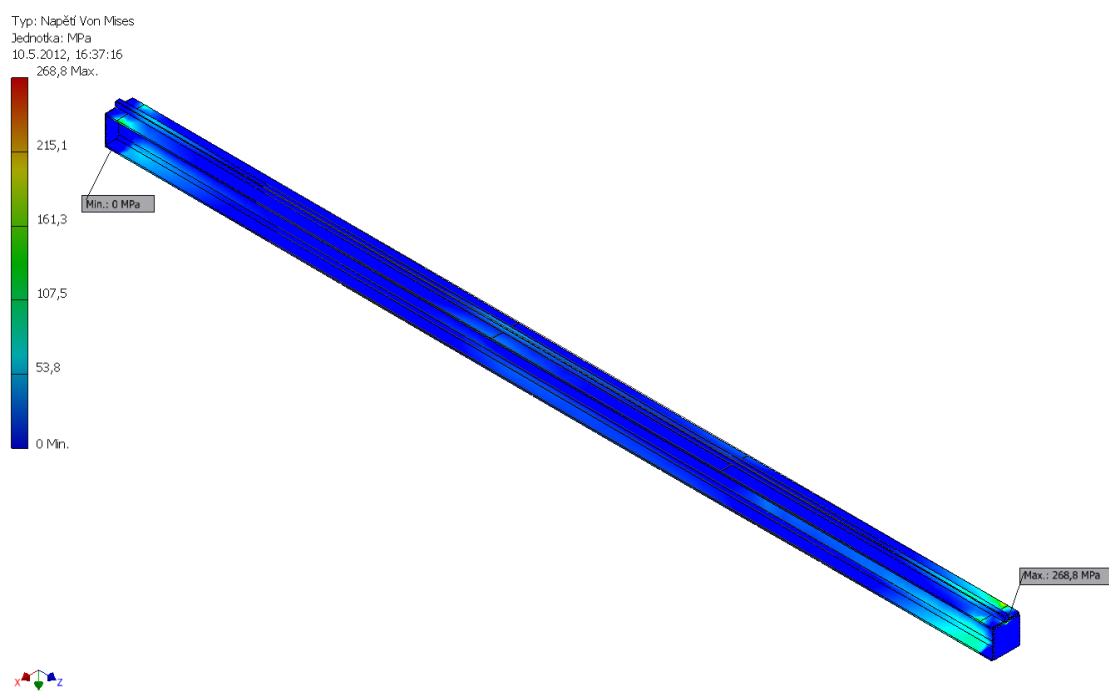
Podle na internetu dostupných materiálů se dnes v České republice využívá mnoha typů konstrukčních řešení pro jeřábové dráhy a je z pohledu této bakalářské práce téměř nemožné říci, které z nich je po ekonomické i technické stránce to nejvhodnější. Z mnou zvažovaných variant je řešení na konci HEA profilu navažené plechu tloušťky 15mm s vyvrtanými otvory a spojení pomocí dvou šroubů tím nejlepším.

12.2 Změna profilu HEA

Změna nosného profilu HEA 340 na nižší HEA 320 (**tab. 12.1** a schéma **obr. 9.3**) by byla možná, což by určitě přineslo snížení nákladů na jeřábovou dráhu. Nutné je dodat, že tím částečně snížíme tuhost celé dráhy, která je pro nás důležitá a určitě tím ovlivníme bezpečnost na i pod jeřábovou dráhou. Je teď již na uvážení konstruktéra se zkušeností z praxe, zda tuto možnost použít či nikoliv, avšak z hlediska pevnostního po provedení MKP v programu Autodesk Inventor 2011 by dráha vydržela a změny v napětí (**obr. 12.5**) i deformaci (**obr. 12.6; obr.12.7**) nejsou až tak markantní. Dokonce ani hodnota součinitele bezpečnosti (**obr. 12.8**) se moc nezměnila. Říci zda-li je tato varianta použitelná, nakolik je bezpečná a jak se projeví únavové účinky na dráze je mimo rozsah této bakalářské práce.

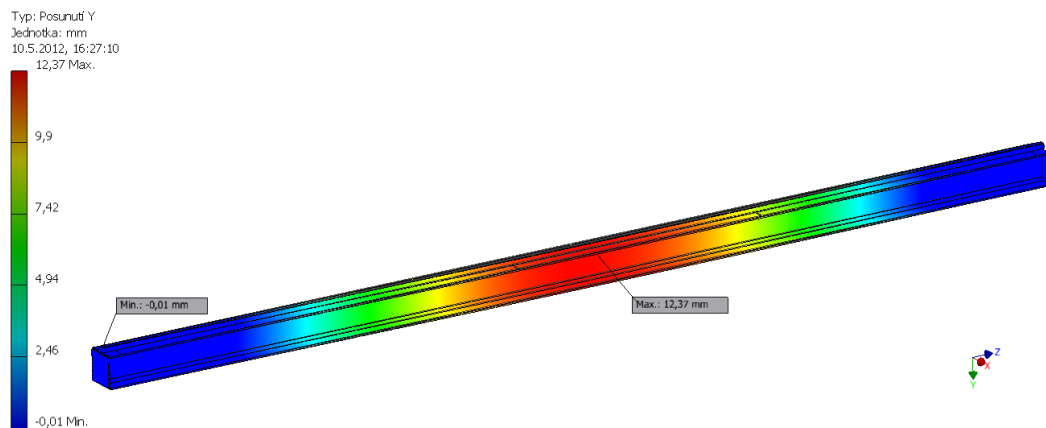
tabulka 12.1 parametry HEA profilu uváděné prodejcem hutního materiálu společností Feron [12]

Označení HEA		320
Šířka příruby	b	300 mm
Výška průřezu	h	310 mm
Tloušťka příruby	t	15,5 mm
Tloušťka stojiny	s	9,0 mm
Plocha průřezu		124 cm ²
Hmotnost		97,6 kg/m
Plocha povrchu		1,76 m ² /m
Mezní úchylka b		±4,0 mm
Mezní úchylka t		+2,5 mm -1,5 mm
Mezní úchylka h		+4 mm -2 mm
Mezní úchylka s		±1,0 mm
Rameno vnitřních sil		28,2 cm
Průřezový modul k ose ohybu x	W _x	1480 cm ³
Poloměr setrvačnosti k ose ohybu x		13,6 cm
Poloměr setrvačnosti k ose ohybu y		7,49 cm
Průřezový modul k ose ohybu y	W _y	466 cm ³
Statický moment poloviny průřezu		814 cm ³
Poloměr vnitřního zaoblení	r ₁	27 mm
Moment setrvačnosti k ose ohybu x		22930 cm ⁴
Moment setrvačnosti k ose ohybu y		6990 cm ⁴



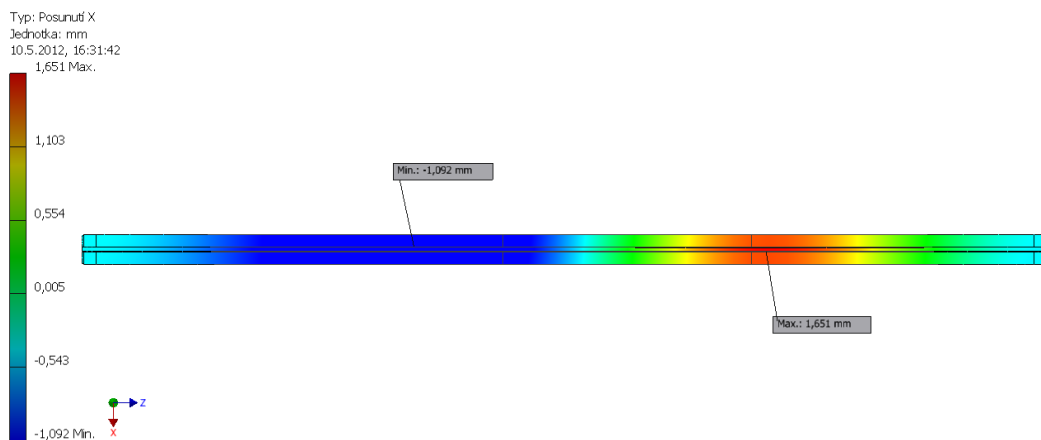
obrázek 12.5 napěťová analýza podle H-M-H

Napěťový extrém je způsoben podporou, nutnou pro výpočet a v praxi nenastane. Maximální hodnota napětí v místě maximální ohybového momentu se pohybuje maximálně okolo 100MPa což pro náš materiál 11 375 je přijatelná hodnota.



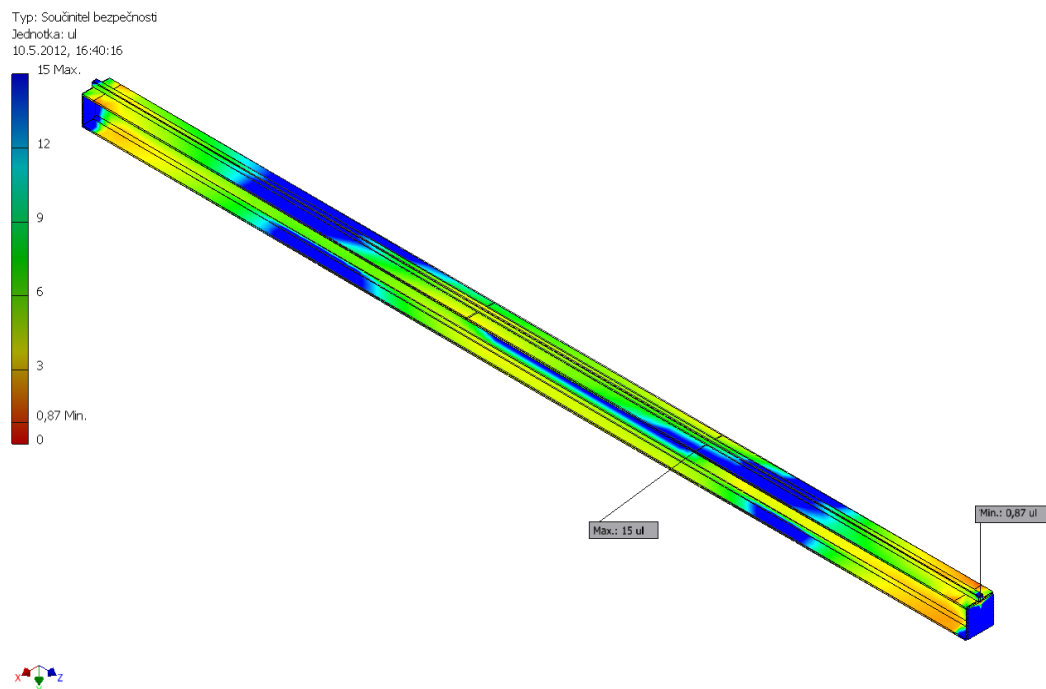
obrázek 12.6 deformace v ose Y

Hodnota maximální deformace je 12,37mm, což podle vztahu 10.1 [4] vyhovuje.



obrázek 12.7 deformace v ose X

Hodnota maximální deformace je 1,651mm, což podle vztahu 10.2 [4] vyhovuje.



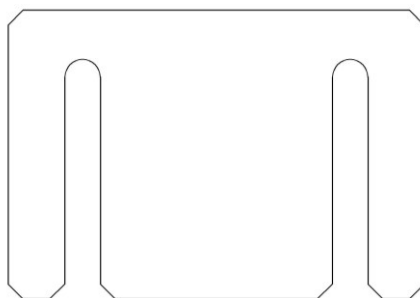
obrázek 12.8 součinitel bezpečnosti

Minimum je v oblasti podpory, která je nutná pro výpočet, a v praxi bude nejspíše hodnota součinitele bezpečnosti v tomto místě vyšší.

13 VÝROBA A MONTÁŽ JEŘÁBOVÉ DRÁHY

Výrobní i montážní postup se může v jistých maličkostech měnit, my si ve zkratce popíšeme postup pro výrobu a usazení resp. celou montáž jeřábové dráhy, která je podle mě velice univerzální a je zároveň prováděna zadavatelem této práce, společností Femont Opava s.r.o.

Jeřábová dráha je připravena celá na dílně, kde jsou k sobě svařeny již připravené hlavní komponenty: nosník jeřábové dráhy tvořený profilem HEA 340 s vyvrtanými podélnými otvory na spodní straně a otvorem pro závitovou tyč ve stojně profilu, kolejnice se dvěma sraženými hranami 5x45° a seříznutými konci na úhel 45°, pokud se nejedná o koncový prvek, ten by byl seříznut jen na jedné straně, nakonec pak čelní desky s vyvrtanými otvory pro smontování s dalším nosníkem. Svary se kontrolují nedestruktivní zkouškou pomocí ultrazvuku. Dále jsou pak připraveny: desky se šrouby pro uchycení v ose Y, speciální podložky k vyrovnání výškových rozdílů na dráze (**obr. 13.1**), U profil a závitová tyč s maticemi, sloužící k rektifikaci dráhy. Všechny tyto prvky jsou expedovány na místo montáže. Zde se první na podlaze k sobě připevní desky se šrouby a hlavní nosník s kolejnicí, matice se dotáhnou. Celý takto sešroubovaný prvek je za pomoci automobilového jeřábu s kratším úvazkem vyzdvižen na nosné konzoly, kde je zatím volně položen. Tento proces opakujeme až do té doby, než sestavíme na nosnících celou jeřábovou dráhu, kterou pomocí navařených čelních desek a šroubů smontujeme k sobě. Jako podložky pod matice používáme pružné podložky, abychom zamezili samovolnému uvolňování matice. Nyní geodet zaměří rozchod kolejnic na rozměr 15400mm a montážní dělníci utahují resp. uvolňují matice na závitové tyči, která spojuje hlavní nosník a U profily navařené na nosné sloupy haly, čímž docílují přesného rozchodu kolejnic po celé dráze. V momentě, kdy docílíme přesného rozchodu kolejnic, svaříme desku se šrouby, na níž je přimontován hlavní nosník k nosným konzolám. Poté opět geodet zaměří, nyní však výšku kolejnice a speciálními podložkami rozměrů 1, 2 a 5mm podkládáme HEA profil, docílíme tak stejné výšky kolejnice po celé délce jeřábové dráhy. Po dokončení těchto kroků dochází k opětovné kontrole celé jeřábové dráhy. Geodet zkontroluje znovu ustavení dráhy, dělníci dotažení šroubů a vizuálně svary. Na závěr se jeřábová dráha uzemní díky měděných drátků s očky. V tomto okamžiku může dojít k instalaci mostového jeřábu a veškeré elektroinstalace, což již není součástí této bakalářské práce.



obrázek 13.1 specifická podložka pro vyrovnávání jeřábové dráhy

14 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Jedním z několika cílů této bakalářské práce bylo pokusit se snížit náklady spojené s procesem návrhu, výroby, logistiky a montáže jeřábové dráhy. Zjištěné výsledky a návrhy se pokusím jednoduše vysvětlit v několika krocích:

Snížení nákladů návrhu

- Během této práce jsem došel k závěru, že by bylo možné snížit profil HEA 340 na profil HEA 320, což přinese snížení nákladů, avšak je nutné tuto změnu zvážit z důvodů popsaných výše (**kap. 12.2**), nejlépe konstruktérem se zkušenostmi v oboru navrhování ocelových konstrukcí.
- Řešení montovaného spojení dvou nosníků jeřábové dráhy za pomoci dvou šroubů namísto čtyř. Toto řešení sice velmi mírně sníží náklady na výrobu dráhy, avšak jeho výhodou je spíše přínos ze statického hlediska. Tudíž tato varianta se jeví jako dobré řešení do budoucna a konstrukční oddělení společnosti Femont Opava s.r.o. se jím již zabývá.
- Zvážil jsem i možnost změny materiálu, avšak ta se jeví jako nesprávný krok.
- Snížit cenu za nákup materiálu se mi také nepodařilo, jelikož firma má smluvní ceny, které byly podstatně nižší než ceny maloobchodní.

Snížení nákladů na výrobu

- Náklady na výrobu by každým zavedením nového výrobního postupu narostly, dokonce většina z navrhovaných alternativních možností by byla v konečném důsledku dražší, až na řešení montovaného spojení pomocí dvou šroubů na místo čtyř, jak je již uvedeno výše.

Snížení nákladů na logistiku

- Žádný z návrhů, zabývajících se snížením nákladů za logistiku, by nepřinesl snížení celkových nákladů.

Snížení nákladů za montáž

- Ani zde se mi nepodařilo najít řešení pro snížení nákladů.

15 ZÁVĚR

Výsledkem této práce je úspěšný návrh jeřábové dráhy, který splnil veškerá kritéria jak z funkčního, tak z pevnostního hlediska. Byly zjištěny zatěžující síly jak svislého, tak vodorovného směru. Největší svislou působící silou je kolový tlak, zvětšený o dynamický a zátěžový součinitel a vodorovnou silou od přičení a jiných nerovností. Dále se nám podařilo nalézt místo s největším ohybovým momentem, které je pod kolem jeřábu posunutým oproti středu o jednu čtvrtinu. Z tohoto místa jsme díky rovnici pro dovolené napětí, zvýšené součinitelem bezpečnosti pro ocel, určili vhodný hlavní nosník jeřábové dráhy. Hlavní nosník je tvořen profilem HEA 340 a kolejnice, tvořená tyčí čtvercového průřezu 50x50mm. Veškeré pevnostní výpočty jsme provedli v programu Autodesk Inventor 2011 a výsledky byly velmi příznivé. Dokonce jsme na jejich základě použili jako alternativní řešení nosník menšího průřezu respektive HEA 320. Naše dráha bude k sobě smontována přes navařené čelní desky z otvory a za pomoci čtyř šrouby M20. K nosným konzolám haly bude přivařena deska se šrouby, na níž se poté celá dráha namontuje. Jako nejvhodnější obměněné řešení se jeví použití dvou šroubů místo čtyř. Na výrobním a montážním postupu jsme z důvodu pokusu o snížení nákladů nic neměnili. V závěru jsme navrhli varianty na možné snížení nákladů a to převážně možnou změnou profilu hlavního nosníku a použití montovaného spojení dvěma šrouby.

16 LITERATURA

- [1] Lienveber J., Vávra P. *Strojnické tabulky: Druhé doplněné vydání*. Albra, Úvaly, 2005, ISBN 80-7361-011-6
- [2] FEMONT OPAVA S.R.O. *Výroba a montáž ocelových hal a konstrukcí*. Opava, 04/2008.
- [3] GOPAS, a.s. *Jeřáby: Cranes*. Praha, 1992 - 2012.
- [4] ČSN 731401. *Navrhování ocelových konstrukcí*. PRAHA: Český normalizační institut, 1998.
- [5] ČSN 730035. *Zatížení stavebních konstrukcí*. PRAHA: Český normalizační institut, 1987.
- [6] ČSN 27 0103. *Navrhování ocelových konstrukcí jeřábů*. PRAHA: Český normalizační institut, 1989.
- [7] *Jirka Ohnutek: Ocelové konstrukce a jeřáby* [online]. 2009 [cit. 2012-05-13].
Dostupné z: <http://jirkaohnutek.cz/>
- [8] *Krantechnik* [online]. 2012 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z:
<http://www.krantechnik.cz/mostove-jeřaby>
- [9] *GIGA: jeřáby a kladkostroje* [online]. 2010 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z:
<http://www.gigasro.cz/mostove-jeřaby-jednonosnikove.html>
- [10] Jeřáb (stroj). In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-13]. Dostupné z:
[http://cs.wikipedia.org/wiki/Je%C5%99%C3%A1b_\(stroj\)](http://cs.wikipedia.org/wiki/Je%C5%99%C3%A1b_(stroj))
- [11] Mostový jeřáb. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2012-05-13]. Dostupné z:
http://cs.wikipedia.org/wiki/Mostov%C3%BD_je%C5%99%C3%A1b
- [12] *Ferona a.s.: hutní materiál, velkoobchod s hutním materiálem* [online]. 2004-2012 [cit. 2012-05-13]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/cze/katalog/search.php>

17 SEZNAM PŘÍLOH

A. Výkres sestavy jeřábové dráhy na A0	DIT0004-01
B. Výkres nosníku jeřábové dráhy N1 na A2	DIT0004-01-01
C. Výkres stavěcího ložiska na A3	DIT0004-01-04
D. Výkres sestavení stavěcího šroubu na A3	DIT0004-01-06
E. Výkres úchytu stavěcího šroubu na A4	DIT0004-01-06-01

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat za obětavou pomoc, cenné rady, nápady a připomínky vedoucímu této práce panu prof. Ing. Josefu Jurmanovi, CSc. a vedoucímu výrobního oddělení firmy Femont Opava s.r.o. panu Ing. Lukáši Churavému, jakožto i celé společnosti, za pomoc při řešení této práce. Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům za možnost studovat Vysokou školu Báňskou - Technickou univerzitu Ostrava.